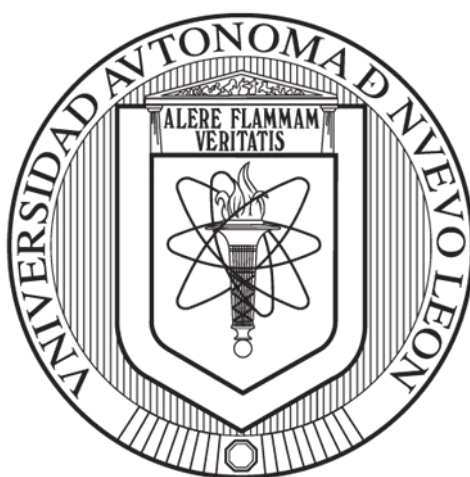


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**COMPOSICIÓN NUTRICIONAL, DIGESTIBILIDAD Y PRODUCCIÓN DE GAS
IN VITRO DE LAS HOJAS DE CINCO ESPECIES FORRAJERAS DEL
MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO**

POR:

MIGUEL CHÁVEZ ESPINOZA

Como requisito parcial para obtener el grado de
**DOCTOR EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN MANEJO DE
RECURSOS NATURALES**

Agosto, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**COMPOSICIÓN NUTRICIONAL, DIGESTIBILIDAD Y PRODUCCIÓN DE GAS
IN VITRO DE LAS HOJAS DE CINCO ESPECIES FORRAJERAS DEL
MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO**

POR:

MIGUEL CHÁVEZ ESPINOZA

Como requisito parcial para obtener el grado de
**DOCTOR EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN MANEJO DE
RECURSOS NATURALES**

Agosto, 2021

**COMPOSICIÓN NUTRICIONAL, DIGESTIBILIDAD Y PRODUCCIÓN DE GAS
IN VITRO DE LAS HOJAS DE CINCO ESPECIES FORRAJERAS DEL
MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO**

Aprobación de tesis



Dr. Humberto González Rodríguez
Director



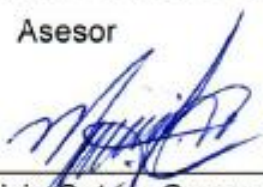
Dr. Hugo Bernal Barragán
Co-director externo



Dr. Israel Cantú Silva
Asesor



Dr. Andrés Eduardo Estrada Castillón
Asesor



Dr. Mauricio Cotera Correa
Asesor

LINARES, NUEVO LEÓN

AGOSTO DEL 2021

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización del Posgrado y por el financiamiento del proyecto clave No. 250732 para llevar a cabo la presente investigación.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y su Facultad de Ciencias Forestales (FCF), por todas las atenciones brindadas para la realización de mi Posgrado, gracias a todo el personal docente por transmitir conocimientos a lo largo de mi preparación profesional y personal no docente por todo el apoyo y palabras de motivación para culminar mis estudios.

Al Dr. Roque Gonzalo Ramírez Lozano (†), por todo el apoyo que me brindó para continuar con mis estudios de doctorado en la UANL-FCF, y el cual me hubiera gustado que estuviera presente en la culminación de esta etapa profesional.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, por aceptarme para la realización de la presente investigación como mi director de tesis, por todo el tiempo dedicado para asesorías y revisiones, compartir sus experiencias y forjar en mi persona el interés de la investigación.

Al Dr. Hugo Bernal Barragán, por formar parte del comité de tesis, la asesoría brindada, la disponibilidad y ayuda brindada para llevar a cabo esta investigación en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de Alimentos de la Facultad de Agronomía (FA) de la UANL.

Al Dr. Israel Cantú Silva, por sus consejos, formar parte del comité de tesis, su tiempo destinado para la revisión y pronta respuesta para obtener los productos derivados de esta investigación.

A la Dr. Andrés Eduardo Estrada Castellón, por formar parte de mi comité de tesis y las unidades de aprendizaje impartidas durante mi programa de doctorado.

Al Dr. Mauricio Coteria Correa, por sus revisiones y formar parte de mi comité de tesis.

A la Dra. Maribel Guerrero Cervantes, por su apoyo en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), para realizar parte de esta investigación.

A la Dra. Nydia Corina Vázquez Aguilar por su tiempo y apoyo en esta investigación, y a todos los compañeros que me ayudaron durante mi estancia en la FA-UANL.

Al Dr. Juan Manuel López Hernández, por su tiempo en asesorías y compartir sus conocimientos para mejorar la presente investigación.

A la señora Elsa González Serna, por todo su apoyo, tiempo y consejos para mejorar el trabajo en el Laboratorio de Química y Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Forestales.

A Don Manuel Hernández Charles, por todo su apoyo, disponibilidad para recolectar muestras y su guía siempre que salíamos a campo.

A mis compañeros de laboratorio: Perla, Jonathan, Emanuel, Claudia, Filio, Carmona y Andrés, por brindarme su amistad y ayuda a lo largo de mi estancia en el laboratorio, muchas gracias.

A mis compañeros del programa de doctorado, Darithsa, Rebeca e Isaac y al resto de los profesores, personal y alumnos que ayudaron a llevar de manera más amena mi estancia en la UANL-FCF, a todos muchas gracias.

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por darme vida, salud y permitirme llegar a concluir esta etapa de mi formación profesional. Un reto en mi vida, el cual hace muchos años pensaba imposible.

A mi mamá Margarita Espinoza Contreras por todo su esfuerzo para brindarme la oportunidad de superarme, ya que sin ella no estaría en este punto de mi vida. A mi padre Miguel Chávez Ocegüera por permitirme desarrollarme profesionalmente, espero no haberlos defraudado.

A mis hermanos Clarisa, Eduardo y Fernando, por todo su cariño y apoyo incondicional, a pesar de la distancia, el tiempo y las adversidades que se han presentado.

¡¡¡Muchas gracias!!!

1.- ÍNDICE

1.- ÍNDICE.....	vi
2.- ÍNDICE DE CUADROS	ix
3.- ÍNDICE DE FIGURAS	xii
4.- RESUMEN.....	xiii
5.- ABSTRACT	xv
6.- INTRODUCCIÓN.....	1
7.- JUSTIFICACIÓN	3
8.- HIPÓTESIS.....	4
9.- OBJETIVO.....	4
9.1.- Objetivos específicos.....	4
10.- ESTRUCTURA DE LA TESIS	5
11.- CAPÍTULO I: CONTENIDO FOLIAR MINERAL DE CINCO ESPECIES ARBUSTIVAS CON POTENCIAL NUTRICIONAL PARA PEQUEÑOS RUMIANTES EN REGIONES SEMIÁRIDAS DEL NORESTE DE MÉXICO	6
11.1.- Resumen	6
11.2.- Abstract.....	7
11.3.- Introducción.....	8
11.4.- Materiales y métodos	9
11.4.1.- Análisis estadísticos	12
11.5.- Resultados	13
11.6.- Discusión	24
12.- CAPÍTULO II: COMPOSICIÓN DE LA PARED CELULAR Y DIGESTIBILIDAD DE CINCO ARBUSTIVAS NATIVAS DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN EL NORESTE DE MÉXICO	28
12.1.- Resumen	28
12.2.- Abstract.....	29
12.3.- Introducción.....	30
12.4.- Materiales y métodos	32
12.4.1.- Ubicación de los sitios de estudio.....	32

12.4.2.- Frecuencia de muestreo y recolección	32
12.4.3.- Preparación de las muestras	33
12.4.4.- Determinación de la composición química de las muestras tejido foliar	33
12.4.5.- Digestibilidad verdadera <i>in vitro</i> (Daisy II).....	34
12.4.6.- Variables ambientales.....	35
12.4.7.- Análisis estadístico.....	35
12.5.- Resultados	36
12.5.1.- Composición química	36
12.6.- Discusión	45
12.6.1.- Composición química	45
12.6.2.- Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca	47
13.- CAPÍTULO III: VALOR NUTRITIVO ESTACIONAL Y CINÉTICA DE LA FERMENTACIÓN <i>IN VITRO</i> DEL FOLLAJE DE ALGUNAS ESPECIES DE ARBUSTOS MULTIPROPÓSITO EN EL NORESTE DE MÉXICO	51
13.1.- Resumen	51
13.2.- Abstract.....	52
13.3.- Introducción.....	53
13.4.- Materiales y métodos	54
13.4.1.- Sitios de estudio.....	54
13.4.2.- Muestreo y preparación de follaje	55
13.4.3.- Análisis químicos.....	56
13.4.4.- Determinación de la producción de gas <i>in vitro</i>	56
13.4.5.- Digestibilidad <i>in vitro</i> verdadera de la materia orgánica	57
13.4.6.- Estimación de energía metabolizable (EM).....	58
13.4.7.- Variables ambientales.....	58
13.4.8.- Análisis estadísticos.....	59
13.5.- Resultados	59
13.6.- Discusión	69
14.- CONCLUSIONES.....	75
15.- BIBLIOGRAFÍA.....	77

16.- ANEXOS.....	91
16.1.- Publicaciones	93
16.2.- Participación en congresos.....	93

2.- ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Temperatura media del aire (T), humedad relativa media (HR) y precipitación registrada mensualmente en los dos sitios de estudio.....	13
Cuadro 2. Contenido foliar mensual de Ca (g kg^{-1} materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media ($n = 5$).....	15
Cuadro 3. Contenido foliar mensual de P (g kg^{-1} materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media ($n = 5$).....	16
Cuadro 4. Contenido foliar mensual de K (g kg^{-1} materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media ($n = 5$).....	17
Cuadro 5. Contenido foliar mensual de Mg (g kg^{-1} materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media ($n = 5$).....	18
Cuadro 6. Contenido foliar mensual de Cu (g kg^{-1} materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media ($n = 5$).....	20
Cuadro 7. Contenido foliar mensual de Fe (g kg^{-1} materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media ($n = 5$).....	21
Cuadro 8. Contenido foliar mensual de Mn (g kg^{-1} materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media ($n = 5$).....	22
Cuadro 9. Contenido foliar mensual de Zn (g kg^{-1} materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media ($n = 5$).....	23

Cuadro 10. Contenido foliar mensual de ceniza (% , materia seca) en cinco especies de arbustos del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Se muestran los estadísticos de Kruskal-Wallis por mes, sitio y especie.....	37
Cuadro 11. Contenido foliar mensual de celulosa (% , materia seca) en cinco especies de arbustos del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Se muestran los estadísticos de Kruskal-Wallis por mes, sitio y especie.....	38
Cuadro 12. Contenido foliar mensual de hemicelulosa (% , materia seca) en cinco especies de arbustos del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Se muestran los estadísticos de Kruskal-Wallis por mes, sitio y especie.....	39
Cuadro 13. Contenido foliar mensual de lignina detergente acida (% , materia seca) en cinco especies de arbustos del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Se muestran los estadísticos de Kruskal-Wallis por mes, sitio y especie.....	40
Cuadro 14. Contenido foliar mensual de proteína cruda (% , materia seca) en cinco especies de arbustivas del noreste de México colectados en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019.....	42
Cuadro 15. Contenido foliar mensual de carbohidratos no estructurales (% , materia seca) en cinco especies de arbustivas del noreste de México colectados en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019.....	43
Cuadro 16. Digestibilidad in vitro de la materia seca foliar mensual de cinco especies de arbustivas del noreste de México colectados en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019.	44
Cuadro 17. Composición química (% MS) de hojas de cinco especies de arbustos recolectadas en dos sitios de muestreo en cada época del año de 2018 a 2019 en el noreste de México.	60

Cuadro 18. Producción de gas in vitro a las 24 h de incubación (ml / g 200 mg MS), energía metabolizable (Mcal / kg MS), parámetros de producción de gas (a, b, c, a + b y DEMS 500 mg MS), Digestibilidad in vitro de la materia orgánica y digestibilidad in vitro verdadera de la materia orgánica de las hojas de cinco especies arbustivas recolectadas en dos sitios de muestreo en cada estación del año de 2018 a 2019 en el noreste de México. 67

3.- ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la ubicación de los dos sitios de muestreo.....	10
Figura 2. Imágenes representativas de las especies de plantas estudiadas. 1; Celtis pallida, 2; Croton suaveolens, 3; Forestiera angustifolia, 4; Guaiacum angustifolium, 5; Parkinsonia aculeata.....	11
Figura 3. Producción de gas <i>in vitro</i> a 96 h de hojas de cinco especies de arbustos nativos recolectadas durante las temporadas de verano, otoño, invierno y primavera en dos sitios de investigación. Los valores graficados representan la media (n = 9).....	65

4.- RESUMEN

Este estudio fue realizado para determinar la composición mensual de los minerales Ca, P, K, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, la composición de la pared celular y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), y por estación del año la composición química, contenido de energía metabolizable (EM), digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) y la digestibilidad verdadera *in vitro* de la materia orgánica (DVIVMO) en cinco especies arbustivas que son consumidas por pequeños rumiantes en las regiones semiáridas del noreste de México. Las muestras de hojas de las especies arbustivas *Celtis pallida*, *Croton suaveolens*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiacum angustifolium* y *Parkinsonia aculeata* fueron colectadas al azar durante doce meses consecutivos de julio 2018 a junio 2019 en dos sitios, localizados en Linares y Los Ramones, municipios del estado de Nuevo León, México. El contenido mineral se analizó mediante un espectrofotómetro de absorción atómica, mientras que el fósforo se midió mediante el método de colorimetría. Los componentes químicos se determinaron mediante análisis gravimétrico, la DIVMS y la DVIVMO se evaluó usando un incubador Daisy^{II}. El contenido de EM, parámetros de fermentación ruminal y DIVMO fueron estimados utilizando jeringas de vidrio. El municipio de Linares mostró el mayor contenido de macro-minerales y micro-minerales. De las especies evaluadas, *C. pallida* mostró los valores más altos de macro-minerales y *P. aculeata* el contenido de micro-minerales fue más alto. Los contenidos de Ca (media total = 40.0 g kg⁻¹ MS), K (15.4 g kg⁻¹), Mg (3.7 g kg⁻¹), Fe (87.2 mg kg⁻¹) y Mn (35.5 mg kg⁻¹) estaban disponibles en cantidades adecuadas, mientras que el P (1.3 g kg⁻¹ MS), Cu (6.4 mg kg⁻¹) y Zn (17.7 mg kg⁻¹) se encontraron deficientes. Los carbohidratos no estructurales (CNE) (media total = 22.4% materia seca) variaron significativamente entre especies, sitios y meses ($p < 0.001$, $p < 0.05$ and $p < 0.001$, respectivamente). Por el contrario, ni lignina detergente ácida (LDA) (8.4%), proteína cruda (PC) (21.9%), celulosa (12.5%), hemicelulosa (20.8%), ni la DIVMS (75.5%) variaron significativamente entre los sitios. En general, los valores de CNE fueron mayores en Linares. Los valores de

DIVMS más altos y bajos según el incubador Daisy^{II} se registraron en marzo y septiembre, respectivamente. La especie *C. pallida* mostró la mayor DIVMS asociado con un contenido alto de hemicelulosa y bajo de LDA, mientras que *P. aculeata* mostró un menor valor de DIVMS y un alto contenido de celulosa. Los valores más altos de fibra detergente neutra fueron registrados en el sitio Los Ramones (42.4% materia seca), otoño (46.0%) y en *P. aculeata* (48.1%), y los menores valores se registraron en invierno (39.7%) y *C. pallida* (32.0%) en el sitio Linares. Los contenidos de fibra detergente acida, lignina, proteína cruda, extracto etéreo (EE), así como los valores de producción de gas a 24 h, EM, parámetros fermentativos y degradación efectiva, fueron similares entre ambos sitios ($p>0.05$), aunque se encontraron valores mayores en primavera, excepto para EE y la fracción inmediatamente soluble de la producción gas. Se registró una interacción significativa estación*especie para la DIVMO ($p<0.001$), con los niveles más altos para *C. pallida* (58.8%) y primavera (49.3%). La especie *C. pallida* mostró los niveles más altos (88.7%) de DVIVMO. En conclusión, las especies de plantas arbustivas de este estudio pueden considerarse una buena fuente de Ca, K, Mg, Fe y Mn, excepto en *C. suaveolens*. Sin embargo, se deben suplementar P, Cu y Zn. Las especies en estudio pueden considerarse como un recurso de alimentación para pequeños rumiantes durante todo el año. Todas las especies mantuvieron niveles de digestibilidad considerablemente altos, lo que podría indicar una disponibilidad de altos niveles de PC para el consumo de rumiantes en las regiones semiáridas del noreste de México. Las especies de plantas arbustivas evaluadas, especialmente *C. pallida*, representan una importante fuente de forraje para pequeños rumiantes en la región semiárida del noreste de México.

5.- ABSTRACT

This study was conducted to determine the monthly composition of the minerals Ca, P, K, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, cell-wall composition, *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) and the seasonal chemical composition, metabolizable energy (ME) content, *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD) and *in vitro* true organic matter digestibility (IVTOMD) in five shrub species that are consumed by small ruminants in the semi-arid regions of northeastern Mexico. Leaves samples of shrub species *Celtis pallida*, *Croton suaveolens*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiacum angustifolium* and *Parkinsonia aculeata* were randomly collected during twelve consecutive months from July 2018 to June 2019 in two sites, located in Linares and Los Ramones counties, in the state of Nuevo Leon, Mexico. Mineral content was analyzed using an atomic absorption spectrophotometer, while phosphorus was measured by the colorimetry method, The IVDMD and IVTOMD was calculated using the Daisy^{II} incubator, Chemical components were determined by gravimetric analysis. ME content, rumen fermentation parameters and IVOMD were estimated using glass syringes. The Linares county showed the highest content of macro- and micro-minerals. Among species, *C. pallida* showed the highest values of macro-minerals and *P. aculeata* was highest in content of micro-minerals. The content of Ca (total mean = 40.0 g kg⁻¹ DM), K (15.4 g kg⁻¹), Mg (3.7 g kg⁻¹), Fe (87.2 mg kg⁻¹), Mn (35.5 mg kg⁻¹) were available in adequate quantities, while P (1.3 g kg⁻¹ DM), Cu (6.4 mg kg⁻¹) and Zn (17.7 mg kg⁻¹) were found deficient. Non-structural carbohydrates (NSC) (total mean = 22.4% dry matter) varied significantly among species, sites, and months ($p < 0.001$, $p < 0.05$ and $p < 0.001$, respectively). Conversely, neither acid detergent lignin (ADL) (8.4%), crude protein (CP) (21.9%), cellulose (12.5%), hemicellulose (20.8%), nor IVDMD (75.5%) varied significantly between sites. In general, NSC values were higher in Linares. The highest and lowest IVDMD values as per the Daisy^{II} incubator were recorded in march and september, respectively. The shrub species *C. pallida* showed the highest IVDMD associated with a high hemicellulose and low ADL values, whereas *P. aculeata* showed a lower IVDMD

value and high cellulose content. Higher neutral detergent fiber fraction was registered at Los Ramones site (42.4% dry matter), in autumn (46.0%), and in *P. aculeata* (48.1%), whereas lower values were registered in winter (39.7%) and *C. pallida* (32.0%) at Linares site. Contents of acid detergent fiber, lignin, crude protein, ether extract (EE), as well as values of gas production at 24 h, ME, fermentative parameters, and effective degradation, were similar between sites ($p>0.05$); however, spring values were higher, except for EE and the gas production from the immediately soluble fraction. A significant interaction season*species was found for IVOMD ($p<0.001$), with highest levels being found in *C. pallida* (58.8%) and in spring season (49.3%). The species *C. pallida* (88.7%) showed the highest levels of IVTOMD. In conclusion, the shrub species in this study can be considered as a good source of Ca, K, Mg, Fe and Mn except in *C. suaveolens*. However, P, Cu and Zn must be supplemented. Also, the species under study can be considered as emergency feed resources for small ruminants throughout the year. All species maintained considerably high levels of digestibility, which might indicate an availability of high CP levels for consumption by ruminants in the semi-arid regions of northeastern México. The evaluated shrub species, especially *C. pallida*, represent important fodder sources for small ruminants in the semi-arid region of northeastern Mexico.

6.- INTRODUCCIÓN

Las especies de plantas distribuidas en el noreste de México, que se categorizan en varios grupos en función de sus adaptaciones ecológicas y uso forestal, constituyen el tipo de vegetación conocido como matorral espinoso tamaulipeco. Este tipo de vegetación abarca aproximadamente 125,000 km² desde la llanura costera del Golfo de México hasta el de Texas en los Estados Unidos de América (Foroughbakhch, 1992; Foroughbakhch *et al.*, 2005; Domínguez-Gómez *et al.*, 2012). La vegetación de esta zona, está formada por pequeños árboles y arbustos de casi 60 especies leñosas (Ludwig *et al.*, 1975; Domínguez-Gómez *et al.*, 2012), muchos de ellos importantes en la producción forestal y silvopastoril (madera, postes, leña, forrajes, carbón vegetal, medicinas, etc.), que son los usos conocidos más comunes documentados por Estrada-Castillón *et al.* (2018). La producción ganadera basada en el pastoreo se realiza principalmente en regiones áridas y semiáridas, en tierras tradicionalmente consideradas inadecuadas para la producción de cultivos, que contienen plantas leñosas y arbustivas relevantes como fuente potencial de forraje (Estell *et al.*, 2012), que contienen niveles satisfactorios de proteínas y minerales para el pastoreo de rumiantes, mientras mantienen o mejoran la disponibilidad de los pastizales (Ramírez-Orduña *et al.*, 2005; Guerrero-Cervantes *et al.*, 2012; Habib *et al.*, 2016; Derero y Kitaw, 2018). Muchos árboles y arbustos de especies leguminosas de las regiones semiáridas se utilizan como alimento mediante ramoneo por ovejas y en mayor medida por cabras (Sanon *et al.*, 2007) y también por rumiantes silvestres, ya que las especies arbustivas permanecen verdes y con un contenido de nutrientes relativamente alto durante todo el año (Guerrero-Cervantes *et al.*, 2008). En las hojas de las especies arbustivas de algunos de los árboles y arbustos del Matorral Espinoso Tamaulipeco, mediante métodos de producción de gas *in vitro* o *in situ*, no han sido detectadas sustancias tóxicas o de baja palatabilidad, como los taninos, en cantidades que pueden limitar su uso como forraje (Ramírez *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2011;). Además, su preferencia por el consumo de pequeños rumiantes ha sido demostrada por Ramírez *et al.*

(1997) y Foroughbakhch *et al.* (2013). Dado que el análisis de la composición química no refleja el efecto de los compuestos secundarios de las plantas (CSP), es importante elegir métodos de análisis adicionales para evaluar la calidad nutricional de los arbustos nativos en los agostaderos. La producción de gas *in vitro* medida mediante transductores de presión y jeringas de gas (Getachew *et al.*, 2005), se pueden utilizar para clasificar la calidad nutricional en arbustos y árboles forrajeros (Larbi *et al.*, 1998) y son sensibles a la presencia de CSP (Sebata *et al.* 2011), ya que compuestos como los taninos en las especies consumidas por ramoneo podrían limitar la fermentación *in vitro* (Guerrero *et al.*, 2012). El incubador Daisy^{II} es adaptable y eficiente para determinar la digestibilidad del forraje (Holden, 1999), pero con una cantidad mínima de rumiantes necesarios como donantes de líquido ruminal (Buthelezi *et al.*, 2019). También se ha comprobado su confiabilidad con forrajes con diferentes cantidades de fibras y se ha recomendado su uso por su factibilidad, repetibilidad y requerimiento mínimo de uso de animales, ya que se obtienen resultados confiables al compararlos con pruebas *in vivo*, con muy poca variación entre técnicas (Trujillo *et al.*, 2010). Por tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la concentración foliar mensual de Ca, P, K, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, la proteína cruda (PC), la composición de la pared celular que incluye celulosa, hemicelulosa y lignina detergente ácido (LDA), carbohidratos no estructurales (CNE) y digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS). Además, determinar la composición química estacional, la energía metabolizable (EM), los parámetros de fermentación *in vitro*, la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) y la digestibilidad *in vitro* verdadera de la materia orgánica (DIVVMO), y el potencial nutricional del tejido foliar de las especies arbustivas nativas *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae), *Croton suaveolens* Torr. (Euphorbiaceae), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae), *Guaiaecum angustifolium* Engelm. (Zygophyllaceae) y *Parkinsonia aculeata* L. (Fabaceae) en dos sitios de estudio en el noreste de México y estimar si tienen el potencial para satisfacer las necesidades nutricionales de pequeños rumiantes en el noreste de México.

7.- JUSTIFICACIÓN

Actualmente existe la necesidad de alimentos que incluyan una alta proporción de nutrientes digeribles, por lo que generar información útil para la nutrición de los animales es importante. El Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET), un ecosistema vegetal de las regiones semiáridas del noreste de México, contiene una gran diversidad de especies de árboles y arbustos, que han desarrollado características morfológicas y fisiológicas para adaptarse a factores climáticos adversos. Además, de que podrían ser recursos importantes de alimentación animal en tiempos de escasez de alimento, sin embargo, se necesita más investigación sobre el contenido de mineral, composición química, digestibilidad y el perfil fermentativo de las hojas de especies arbustivas nativas, pertenecientes al MET del noreste de México.

8.- HIPÓTESIS

El tejido foliar de cinco especies arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco contiene nutrientes y un perfil fermentativo adecuados para ser consumido por rumiantes en pastoreo extensivo o fauna silvestre y así actuar como un recurso emergente de alimentación animal durante todo el año.

9.- OBJETIVO

Determinar y comparar el contenido mineral, digestibilidad y producción de gas *in vitro* de cinco especies vegetales (*Celtis pallida*, *Croton suaveolens*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiacum angustifolium* y *Parkinsonia aculeata*) del MET colectadas mensualmente durante un año en dos sitios en el estado Nuevo León, México.

9.1.- Objetivos específicos

1. Determinar mensualmente durante un año el contenido de macro- (Ca, K, Mg y P) y micro-minerales (Cu, Fe, Mn y Zn).
2. Determinar mensualmente durante un año la digestibilidad *in vitro*, usando el método Daisy^{II}.
3. Determinar los parámetros estacionales de la producción de gas *in vitro*.
4. Comparar la disponibilidad de nutrientes de las hojas de cinco especies arbustivas colectadas con los requerimientos de diferentes rumiantes.

10.- ESTRUCTURA DE LA TESIS

La presente investigación es presentada por capítulos, los cuales representan artículos científicos publicados y en revisión, a continuación, se mencionan cada uno. La investigación inicia con una introducción general del tema principal de investigación. En el Capítulo I, se presenta el contenido mineral de cinco especies con potencial forrajero del Matorral Espinoso Tamaulipeco. En este capítulo, se cuantificó el contenido de macro- (Ca, K, Mg y P) y micro- minerales (Cu, Fe, Mn y Zn) y si cumplen con los requerimientos de pequeños rumiantes. Este artículo se encuentra publicado en: Chávez-Espinoza M, González-Rodríguez H, Cantú-Silva I, Cotería-Correa M, Estrada-Castillón AE, Bernal-Barragán H, Gómez-Meza MV. (2020). Foliar mineral content of five shrub species with nutritional potential for small ruminants in semiarid regions in northeastern Mexico. *Ciência Rural*, 50, 10, e20200202. <https://doi.org/http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200202>. En el Capítulo II, se evaluó la composición química de la pared celular y su digestibilidad *in vitro*. Este artículo se encuentra en: Chávez-Espinoza M, Bernal-Barragán H, Vásquez-Aguilar N, Cantú-Silva I, Cotería-Correa M, Estrada-Castillón A, González-Rodríguez H, Sarquis-Ramírez J. (2021). Cell-wall composition and digestibility of five native shrubs of the Tamaulipan Thornscrub in Northeastern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 24(1):#04. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3447>. En el Capítulo III, se presentan los parámetros estacionales de producción de gas *in vitro*. Este artículo se encuentra en proceso de revisión en la Revista *Tropical Grassland-Forrajes Tropicales*. Finalmente, se incluye una conclusión general de los resultados encontrados en los capítulos mencionados, publicaciones y participación en Congresos y un anexo con los resultados de las pruebas de correlación de Pearson.

11.- CAPÍTULO I: CONTENIDO FOLIAR MINERAL DE CINCO ESPECIES ARBUSTIVAS CON POTENCIAL NUTRICIONAL PARA PEQUEÑOS RUMIANTES EN REGIONES SEMIÁRIDAS DEL NORESTE DE MÉXICO

CHAPTER I: FOLIAR MINERAL CONTENT OF FIVE SHRUB SPECIES WITH NUTRITIONAL POTENTIAL FOR SMALL RUMINANTS IN SEMIARID REGIONS IN NORTHEASTERN MEXICO

11.1.- Resumen

Este estudio fue realizado para determinar la composición mensual de los minerales Ca, P, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn en cinco especies arbustivas que son consumidas por pequeños rumiantes en las regiones semiáridas del noreste de México. Las muestras de hojas de las especies arbustivas; *Celtis pallida*, *Croton suaveolens*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiaacum angustifolium* y *Parkinsonia aculeata* fueron colectadas al azar durante doce meses consecutivos de julio 2018 a junio 2019 en dos sitios, localizados en Linares y Los Ramones, municipios del estado de Nuevo León, México. El contenido mineral se analizó mediante un espectrofotómetro de absorción atómica, mientras que el fósforo se midió mediante el método de colorimetría. El municipio de Linares mostró el mayor contenido de macro-minerales y micro-minerales. Entre especies, *C. pallida* mostró los valores más altos de macro-minerales y *P. aculeata* el contenido de micro-minerales fue más alto. Ca (media total = 40.0 g kg⁻¹ MS), K (15.4 g kg⁻¹), Mg (3.7 g kg⁻¹), Fe (87.2 mg kg⁻¹), Mn (35.5 mg kg⁻¹) estaban disponibles en cantidades adecuadas, mientras P (1.3 g kg⁻¹ MS), Cu (6.4 mg kg⁻¹) y Zn (17.7 mg kg⁻¹) se encontraron deficientes. Las especies de arbustos de este estudio pueden considerarse una buena fuente de Ca, K, Mg, Fe y Mn, excepto en *C. suaveolens*. Sin embargo, se deben suplementar P, Cu y Zn.

Palabras clave: animales en pastoreo, hojas, requerimientos nutricionales.

11.2.- Abstract

This study was conducted to determine the monthly composition of the minerals Ca, P, K, Mg, Cu, Fe, Mn, and Zn in five shrub species that are consumed by small ruminants in the semi-arid regions of northeastern Mexico. Leaves samples of shrub species; *Celtis pallida*, *Croton suaveolens*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiacum angustifolium* and *Parkinsonia aculeata* were randomly collected during twelve consecutive months from July 2018 to June 2019 in two sites, located in Linares and Los Ramones counties, in the state of Nuevo Leon, Mexico. Mineral content was analyzed using an atomic absorption spectrophotometer, while phosphorus was measured by the colorimetry method. The Linares county showed the highest content of macro- and micro-minerals. Among species, *C. pallida* showed the highest values of macro-minerals and *P. aculeata* content of micro-minerals was highest. Ca (total mean = 40.0 g kg⁻¹ DM), K (15.4 g kg⁻¹), Mg (3.7 g kg⁻¹), Fe (87.2 mg kg⁻¹), Mn (35.5 mg kg⁻¹) were available in adequate quantities, while P (1.3 g kg⁻¹ DM), Cu (6.4 mg kg⁻¹) and Zn (17.7 mg kg⁻¹) were found deficient. Shrub species in this study can be considered as a good source of Ca, K, Mg, Fe and Mn except in *C. suaveolens*. However, P, Cu and Zn must be supplemented.

Key words: grazing animals, leaves, nutritional requirements.

11.3.- Introducción

Las especies de plantas distribuidas en la región nororiental de México, que se categorizan en varios grupos en función de sus adaptaciones ecológicas y uso forestal, constituyen el tipo de vegetación conocido como matorral espinoso tamaulipeco. Abarca unos 125.000 km² desde la llanura costera del Golfo de México hasta la Riviera sur de Texas en los Estados Unidos de América (Foroughbakhch, 1992; Foroughbakhch *et al.*, 2005; Domínguez-Gómez *et al.*, 2012). La vegetación de esta zona, está formada por pequeños árboles y arbustos de casi 60 especies leñosas (Ludwig *et al.*, 1975; Domínguez-Gómez *et al.*, 2012), muchos de ellos importantes en la producción forestal y silvopastoril (madera, postes, leña, forrajes, carbón vegetal, medicinas, etc.), que son los usos conocidos más comunes documentados por Estrada-Castillón *et al.* (2018). La producción ganadera basada en el pastoreo se produce principalmente en regiones áridas y semiáridas, en tierras tradicionalmente consideradas inadecuadas para la producción de cultivos, que contienen plantas leñosas y arbustivas relevantes como fuente potencial de forraje (Estell *et al.*, 2012), y que contienen niveles satisfactorios de proteínas y minerales para el pastoreo de rumiantes, mientras mantienen o mejoran la disponibilidad de los pastizales (Ramírez-Orduña *et al.*, 2005; Guerrero-Cervantes *et al.*, 2012; Habib *et al.*, 2016; Derero y Kitaw, 2018). Muchos árboles y arbustos de especies leguminosas de las regiones semiáridas se utilizan como alimento especialmente debido al comportamiento en el pastoreo extensivo de cabras y ovejas (Sanon *et al.*, 2007) y también por rumiantes silvestres, ya que las especies arbustivas permanecen verdes y con un contenido de nutrientes relativamente alto durante todo el año (Guerrero-Cervantes *et al.*, 2008). Los arbustos *Celtis pallida* Torr. (Familia *Ulmaceae*), *Croton suaveolens* Torr. (Familia *Euphorbiaceae*), *Forestiera angustifolia* Torr. (Familia *Oleaceae*), *Guaiaacum angustifolium* Engelm. (Familia *Zygophyllaceae*) y *Parkinsonia aculeata* L. (Familia *Leguminosae*) aparentemente no contienen en sus hojas compuestos con efectos secundarios negativos (Schindler *et al.*, 2003; Salem *et al.*, 2014). Sin embargo, en ocasiones

pueden tener concentraciones de minerales desbalanceadas, además de que se consumen en diferentes porcentajes a lo largo del año (Meyer *et al.*, 1984; Ramírez *et al.*, 1997), por lo que el conocimiento de su composición mineral y la correcta suplementación es crucial (Habib *et al.*, 2016),

La hipótesis del presente estudio plantea que las hojas de arbustos nativos del noreste de México representan un importante recurso alimentario y mineral para pequeños rumiantes como cabras, ovejas y venado cola blanca, bajo sistemas de producción extensiva cuando los pastos tienen baja calidad debido a la variación estacional. Las hojas de estas plantas pueden ser una alternativa que no ha sido suficientemente estudiada y podrían representar un valioso recurso alimenticio.

El objetivo de este estudio fue determinar la concentración foliar mensual de Ca, P, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn de cinco arbustivas nativas, durante todo el año en dos sitios de estudio en el noreste de México y estimar si tienen la potencial para satisfacer las necesidades minerales de los pequeños rumiantes.

11.4.- Materiales y métodos

Las especies estudiadas se muestrearon en dos sitios ubicados en el estado de Nuevo León, México, en los municipios de Linares y Los Ramones (Figura 1), cuyas características físicas son: Sitio 1, Linares; el área de estudio se estableció dentro del Campus Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicado en el municipio de Linares (24° 47' 45'' N; 99° 32' 31'' O; 350 metros sobre el nivel del mar). El clima es subtropical y semiárido con verano cálido (González-Rodríguez *et al.*, 2004). La temperatura ambiente promedio mensual registrada durante el período experimental osciló entre 14.1 °C en enero a 30.4 °C en agosto. La precipitación anual registrada fue 554 mm.

Sitio 2, Los Ramones; el área de estudio se estableció en "Rancho El Abuelo" en el municipio de Los Ramones, con un área de 100 ha y una altitud de 200 metros sobre el nivel del mar. La ubicación geográfica es 25° 39' 46'' N; 99° 27' 51'' O. El clima es semiárido con verano cálido (González-Rodríguez *et al.*, 2004).

La temperatura ambiente mensual promedio durante el estudio varió de 14.3 °C en enero a 31.5 °C en agosto. La precipitación anual registrada fue aproximadamente 667 mm.

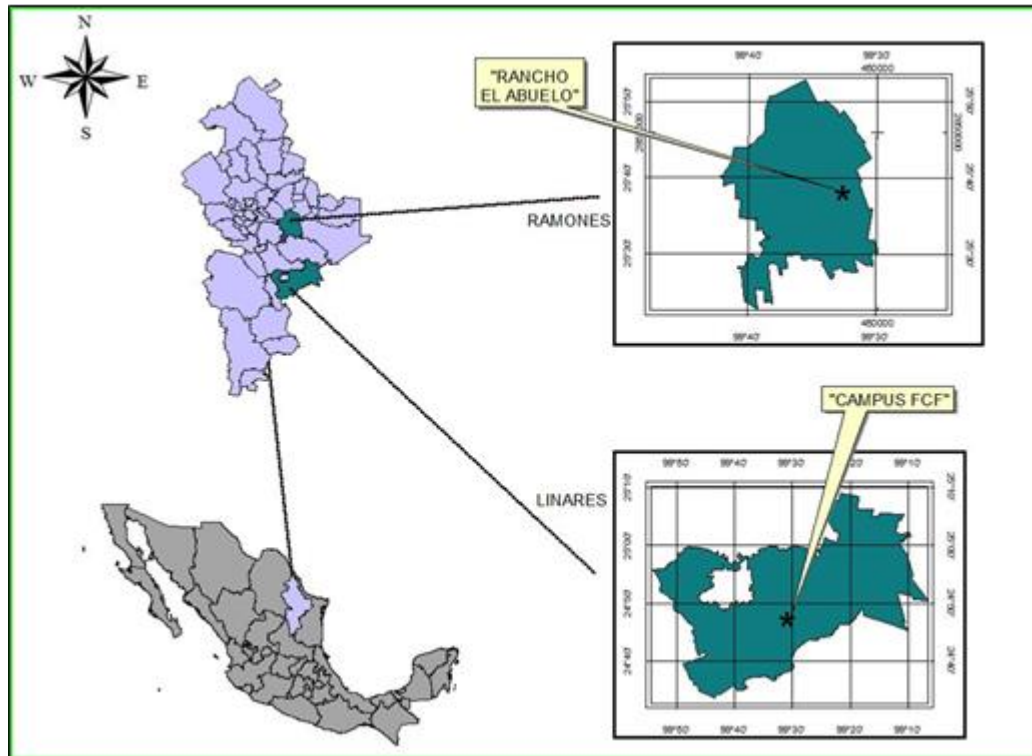


Figura 1. Mapa de la ubicación de los dos sitios de muestreo.

Las parcelas experimentales (50 m x 50 m) representativas de cada sitio de estudio, se establecieron sin perturbaciones. Se tomaron muestras de tejido foliar de cinco individuos seleccionados al azar representativos de cada una de las cinco especies de plantas arbustivas en este estudio: *Celtis pallida*, *Croton suaveolens*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiaacum angustifolium* y *Parkinsonia aculeata* (Figura 2) se recolectaron a una altura de 1 m a 1.5 m del suelo, a intervalos mensuales desde julio de 2018 hasta junio de 2019.



Figura 2. Imágenes representativas de las especies de plantas estudiadas. 1; *Celtis pallida*, 2; *Croton suaveolens*, 3; *Forestiera angustifolia*, 4; *Guaiacum angustifolium*, 5; *Parkinsonia aculeata*.

El material recolectado se secó por 24 h a 55 ° C en una estufa de aire forzado (Felisa®, Modelo FE-292AD, México), en el Laboratorio de Química y Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Forestales, las hojas se separaron de las ramas. Una vez identificadas las muestras foliares por mes, especie y sitio, se trituraron en un molino Thomas Willey (Aparato Científico Thomas, Modelo 3383) usando una malla No. 60 (1 mm x 1 mm), y las muestras molidas se almacenaron en bolsas de plástico.

El contenido de materia seca (MS) de las muestras de hojas se determinó por quintuplicado, pesando 1.0 g de muestra, la cual fue secada a 100 ° C por 24 h en horno de aire forzado (Felisa®, Modelo FE-292AD, México).

El contenido de materia orgánica (MO, %) y cenizas (%) se determinó incinerando la muestra a 550°C durante 3.5 h utilizando un horno (Thermo Scientific, Modelo F48010, EE. UU.). Las cenizas se utilizaron para determinar macrominerales (Ca, Mg y K; g kg⁻¹ MS) y microminerales (Cu, Fe, Mn y Zn; mg kg⁻¹ MS) mediante espectrofotometría de absorción atómica (AOAC, 1997), utilizando un espectrofotómetro (modelo PinAAcle 900F, Perkin Elmer). El contenido de fósforo se midió mediante el método de colorimetría (AOAC, 1997), usando un espectrofotómetro UV-Visible (modelo Lambda 1A, Perkin-Elmer).

Para medir la influencia de la temperatura y la precipitación en cada sitio, se instalaron sensores HOBO automatizados (HOBO Pro Temp / RH Series, Forestry Suppliers, Inc., Jackson, MS, EE.UU.) Para registrar variables ambientales por hora como la temperatura del aire (° C) y humedad relativa (%). La cantidad diaria de lluvia (mm) se cuantificó utilizando un pluviómetro automático de la marca Davis, conectado a un registrador HOBO Event Onset.

11.4.1.- Análisis estadísticos

El análisis estadístico de varianza y comparación de medias de los datos observados para cada mineral se analizaron mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial, con 5 especies, dos sitios y 12 meses como factores, y considerando interacciones dobles y triples.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software de análisis estadístico SPSS (SPSS para Windows, versión 22.0, Chicago, IL, USA).

11.5.- Resultados

Los macros (Ca, P, K y Mg) y los minerales traza (Cu, Fe, Mn y Zn) fueron significativamente diferentes entre sitios (excepto Fe), meses y especies. Las interacciones dobles y triples también fueron significativas. Las precipitaciones, la humedad relativa y la temperatura registradas durante el estudio se muestran en el Cuadro 1. Ninguno de los minerales cuantificados se correlacionó significativamente con las precipitaciones, la humedad relativa y la temperatura registradas durante el período de estudio.

Cuadro 1. Temperatura media del aire (T), humedad relativa media (HR) y precipitación registrada mensualmente en los dos sitios de estudio.

Mes	Linares			Los Ramones		
	T (°C)	HR (%)	Precipitación (mm)	T (°C)	HR (%)	Precipitación (mm)
Julio-2018	30.1	61.3	16.8	31.0	59.4	50.5
Agosto	30.4	59.2	7.6	31.5	55.1	0.0
Septiembre	26.7	79.8	230.5	27.8	77.2	304.0
Octubre	21.5	90.0	24.8	22.8	82.4	23.6
Noviembre	15.9	86.2	8.3	16.4	77.9	7.4
Diciembre	14.4	80.4	23.4	15.3	69.7	8.9
Enero-2019	14.1	81.9	35.1	14.3	77.2	20.8
Febrero	18.2	73.8	5.1	18.6	69.2	0.3
Marzo	19.5	76.5	58.4	19.8	73.9	42.7
Abril	24.0	61.9	2.8	24.4	60.6	1.0
Mayo	27.2	76.3	85.3	27.8	74.9	171.7
Junio	29.6	68.8	56.6	30.3	69.8	36.1
			554.7 ¹			667.0 ¹

¹Precipitación acumulada (mm)

El contenido de Ca fue mayor en Linares, en comparación con Los Ramones. Todas las especies mostraron el mayor contenido de Ca en el mes de junio. *C. pallida* tuvo las concentraciones más altas, mientras que *C. suaveolens* tuvo los valores más bajos (Cuadro 2).

Los Ramones y las especies *P. aculeata* y *G. angustifolium* mostraron concentraciones mayores y menores en P, respectivamente (Cuadro 3). La mayor concentración de P se registró para las muestras recolectadas en marzo, mientras que las recolectadas en julio y agosto fueron las más bajas.

El contenido de potasio fue mayor en las muestras de hojas del sitio Los Ramones. Independientemente de la ubicación, las hojas muestreadas mostraron el mayor contenido de K durante abril y el nivel más bajo en agosto. *C. suaveolens* tuvo el mayor contenido de K; *G. angustifolium* mostró el mínimo (Cuadro 4).

El contenido de magnesio fue mayor en las muestras de hojas colectadas en Los Ramones. Todos los arbustos mostraron valores de Mg más altos en noviembre y más bajos en diciembre. *C. pallida* generalmente tuvo el mayor contenido de Mg, mientras que *P. aculeata* tuvo el más bajo (Cuadro 5).

Cuadro 2. Contenido foliar mensual de Ca (g kg⁻¹ materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media (n = 5).

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	62.5	11.2	12.8	45.0	25.0	40.3	11.4	8.7	31.5	16.2	26.5	0.9
Ago	52.5	9.7	10.6	45.8	19.5	48.8	11.2	16.3	53.4	24.8	29.3	0.9
Sept	113.3	13.3	16.7	83.5	34.2	94.5	15.1	16.9	50.9	27.5	46.6	0.9
Oct	73.0	19.9	19.4	89.3	26.4	80.5	15.8	15.2	78.9	18.5	43.7	0.9
Nov	86.4	16.8	19.6	91.7	27.0	101.6	14.7	16.0	63.2	15.9	45.3	0.9
Dic	58.5	22.6	24.9	61.4	36.0	65.0	19.5	19.5	53.2	16.2	37.7	0.9
Ene-19	64.6	25.3	24.7	52.6	30.0	62.6	22.6	23.2	54.9	17.9	37.8	0.9
Feb	64.6	25.1	17.2	58.1	24.1	57.8	17.4	22.5	52.4	17.0	35.6	0.9
Mar	91.2	20.5	23.3	52.3	17.5	73.6	33.5	47.0	54.2	32.4	44.6	0.9
Abr	80.7	19.7	10.9	40.5	7.3	65.2	13.6	12.7	58.1	7.4	31.6	0.9
May	132.6	19.0	13.0	53.2	18.9	130.9	14.0	12.6	71.7	19.4	48.5	0.9
Jun	120.4	23.5	18.1	77.2	37.6	121.8	16.2	15.9	79.1	20.1	53.0	0.9
Media	83.4	18.9	17.6	62.6	25.3	78.6	17.1	18.9	58.5	19.4	40.0	
EEM	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8		
Media	41.5					38.5						
EEM	0.3					0.3						
Factores	Mes (A)	Sitio (B)	Especie (C)		A x B	A x C		B x C		A x B x C		
p	***	***	***		***	***		***		***		

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiaacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

EEM, error estándar de la media.

*** Nivel de significancia a 0.001, ** Nivel de significancia a 0.01.

Cuadro 3. Contenido foliar mensual de P (g kg⁻¹ materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media (n = 5).

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	1.06	1.09	0.94	0.79	1.42	1.33	1.35	1.00	0.78	1.54	1.13	0.01
Ago	0.84	1.30	0.79	0.97	1.36	1.09	0.92	0.91	0.66	1.21	1.00	0.01
Sept	0.99	1.24	0.84	0.78	1.07	1.19	1.65	1.09	0.76	1.88	1.15	0.01
Oct	1.46	1.64	1.08	0.95	2.00	1.48	1.37	1.19	0.81	2.00	1.40	0.01
Nov	1.43	1.28	0.98	0.89	1.59	1.17	1.05	1.01	0.82	1.63	1.18	0.01
Dic	1.21	1.29	0.90	0.82	1.25	1.18	1.04	1.26	0.90	1.74	1.16	0.01
Ene-19	1.18	1.39	1.08	0.80	1.49	1.19	1.06	1.08	0.83	1.54	1.16	0.01
Feb	1.35	1.52	1.64	0.71	1.49	1.28	1.25	1.75	0.72	1.60	1.33	0.01
Mar	0.87	2.02	1.38	1.77	2.46	1.57	1.43	1.63	1.61	2.80	1.75	0.01
Abr	1.73	1.76	1.03	1.50	2.52	1.80	1.77	1.39	1.09	2.02	1.66	0.01
May	1.34	1.76	0.99	1.06	1.97	1.59	1.99	1.14	0.80	1.77	1.44	0.01
Jun	1.20	1.49	1.04	0.95	1.39	1.46	1.26	1.00	0.70	1.75	1.22	0.01
Media	1.22	1.48	1.06	1.00	1.67	1.36	1.34	1.20	0.87	1.79	1.30	
EEM	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
Media	1.29					1.31						
EEM	0.01					0.01						
Factores	Mes (A)		Sitio (B)		Especie (C)		A x B	A x C		B x C		A x B x C
p	***		**		***		***	***		***		***

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiaacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

EEM, error estándar de la media.

*** Nivel de significancia a 0.001, ** Nivel de significancia a 0.01.

Cuadro 4. Contenido foliar mensual de K (g kg⁻¹ materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media (n = 5).

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	13.9	14.8	24.4	5.0	11.9	20.3	21.0	16.1	6.1	11.8	14.5	0.4
Ago	14.4	12.2	13.7	5.8	13.3	16.6	16.0	15.6	6.6	11.7	12.6	0.4
Sept	13.4	13.3	13.8	4.6	11.3	15.9	20.9	16.0	7.7	12.2	12.9	0.4
Oct	22.5	25.9	16.3	4.1	13.7	14.1	23.7	21.7	6.9	14.7	16.4	0.4
Nov	16.5	19.9	11.8	4.1	12.1	12.7	24.0	23.0	7.1	16.5	14.8	0.4
Dic	22.5	23.7	13.9	4.6	11.4	17.3	23.1	21.5	10.0	17.8	16.6	0.4
Ene-19	19.6	18.1	18.5	8.9	14.9	14.2	15.4	18.0	12.4	15.7	15.6	0.4
Feb	22.6	15.0	19.4	8.7	12.9	17.0	15.7	17.4	8.6	17.0	15.4	0.4
Mar	19.7	19.7	20.9	11.2	14.9	14.2	18.2	17.5	14.1	16.9	16.7	0.4
Abr	19.8	22.9	18.2	11.2	15.8	18.4	23.2	22.8	11.1	14.3	17.8	0.4
May	18.0	17.6	16.4	7.8	14.0	19.4	20.7	15.0	10.5	12.8	15.2	0.4
Jun	21.8	20.9	21.5	7.5	15.2	17.5	21.7	18.9	9.2	12.0	16.6	0.4
Media	18.7	18.6	17.4	7.0	13.5	16.5	20.3	18.6	9.2	14.5	15.4	
EEM	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		
Media	15.0					15.8						
EEM	0.1					0.1						
Factores	Mes (A)		Sitio (B)		Especie (C)		A x B	A x C		B x C		A x B x C
p	***		***		***		***	***		***		***

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiaecum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

EEM, error estándar de la media.

*** Nivel de significancia a 0.001, ** Nivel de significancia a 0.01.

Cuadro 5. Contenido foliar mensual de Mg (g kg^{-1} materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media ($n = 5$).

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	6.5	2.7	2.4	4.4	3.3	6.8	3.8	2.7	3.9	2.2	3.9	0.1
Ago	6.0	2.3	2.4	4.6	2.0	7.9	3.5	3.3	4.5	1.9	3.9	0.1
Sept	7.2	2.7	2.7	5.8	2.8	8.1	3.9	2.8	4.3	2.1	4.2	0.1
Oct	6.7	4.4	3.2	5.5	2.2	8.1	3.9	3.0	4.8	2.4	4.4	0.1
Nov	5.9	4.2	3.7	5.8	2.5	8.4	3.3	3.3	5.1	2.2	4.4	0.1
Dic	3.4	2.5	2.5	4.1	1.7	7.1	2.4	2.3	3.4	1.5	3.1	0.1
Ene-19	5.8	2.5	2.0	2.3	1.6	6.8	2.6	3.4	3.8	1.9	3.3	0.1
Feb	4.6	3.3	1.8	3.4	1.5	5.8	2.7	3.1	3.7	1.4	3.1	0.1
Mar	5.8	2.5	1.7	3.0	1.6	6.9	3.4	2.5	2.3	1.8	3.1	0.1
Abr	5.5	2.7	1.5	2.3	1.5	6.9	3.9	2.4	3.4	1.5	3.2	0.1
May	6.2	2.8	1.2	2.7	1.6	8.2	3.3	1.6	3.7	2.1	3.3	0.1
Jun	6.3	2.8	2.4	3.9	2.0	8.0	3.9	2.7	4.7	2.3	3.9	0.1
Media	5.8	2.9	2.3	4.0*	2.0*	7.4	3.4	2.8	4.0*	1.9*	3.7	
EEM	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
Media	3.4					3.9						
EEM	0.0					0.0						
Factores	Mes (A)	Sitio (B)	Especie (C)			A x B	A x C	B x C		A x B x C		
p	***	***	***			***	***	***		***		

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiaacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

EEM, error estándar de la media.

*** Nivel de significancia a 0.001, ** Nivel de significancia a 0.01. * El factor de sitio no fue significativo entre las mismas especies arbustivas.

El contenido de Cu (Cuadro 6) fue mayor en las muestras de hojas del sitio de Linares en comparación con Los Ramones. Los arbustos muestreados en marzo mostraron el mayor contenido de Cu del año, mientras que las concentraciones fueron menores en las muestras recolectadas en enero. *P. aculeata* y *C. suaveolens* tuvieron un contenido de Cu similar y fueron más altos que *C. pallida*. El contenido de Fe de *C. suaveolens* exhibió los valores más altos (Cuadro 7), las muestras de hojas de enero tuvieron los más altos mientras que julio mostró las concentraciones más bajas.

El contenido de manganeso fue mayor en *P. aculeata* seguido de *F. angustifolia*, además, se registró un mayor contenido de Mn en las muestras foliares del sitio de Linares que en las muestras de arbustos recolectados en Los Ramones, que en general fueron menores. Durante agosto se registraron valores menores, mientras que en enero fueron mayores (Cuadro 8).

El contenido de zinc fue más alto en marzo, mientras que el más bajo se registró en septiembre entre las especies estudiadas. El nivel más alto de Zn se registró en *F. angustifolia*, mientras que *C. pallida* registró los niveles más bajos. Se observaron concentraciones más altas de Zn en muestras foliares en el sitio Los Ramones (Cuadro 9).

Cuadro 6. Contenido foliar mensual de Cu (g kg⁻¹ materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media (n = 5).

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	7.4	6.1	3.9	2.4	12.6	4.9	6.7	3.8	3.4	7.6	5.9	0.2
Ago	4.5	6.7	3.2	2.6	12.9	5.5	5.5	3.7	4.9	7.8	5.7	0.2
Sept	4.6	6.9	4.0	2.7	8.0	4.9	7.8	4.4	3.5	8.1	5.5	0.2
Oct	7.7	10.4	5.3	3.2	13.3	5.7	6.4	5.1	3.2	8.4	6.9	0.2
Nov	5.6	10.8	5.5	3.2	12.7	6.7	6.4	6.0	6.1	6.0	6.9	0.2
Dic	4.3	12.8	4.0	2.6	7.6	5.0	6.0	4.0	4.2	4.2	5.5	0.2
Ene-19	4.7	9.7	3.5	2.2	9.0	4.5	6.1	3.7	5.5	4.2	5.3	0.2
Feb	7.0	9.7	5.8	2.0	9.3	4.2	5.3	7.3	4.6	3.7	5.9	0.2
Mar	3.8	11.1	5.7	7.0	9.2	7.3	7.8	6.8	10.6	6.7	7.6	0.2
Abr	7.9	10.6	4.8	5.0	9.4	9.3	9.1	5.0	7.1	7.3	7.5	0.2
May	6.0	8.8	4.2	3.7	10.4	8.7	8.7	4.0	7.5	9.5	7.1	0.2
Jun	7.4	7.9	3.8	3.4	10.5	7.5	6.9	4.0	5.6	9.6	6.7	0.2
Media	5.9	9.3	4.5	3.3	10.4	6.2	6.9	4.8	5.5	6.9	6.4	
EEM	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
Media	6.7					6.1						
EEM	0.1					0.1						
Factores	Mes (A)	Sitio (B)	Especies (C)		A x B	A x C		B x C		A x B x C		
p	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

EEM, error estándar de la media.

*** Nivel de significancia a 0.001, ** Nivel de significancia a 0.01.

Cuadro 7. Contenido foliar mensual de Fe (g kg⁻¹ materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media (n = 5).

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	60.9	73.8	56.0	94.0	94.3	93.9	71.9	55.4	58.6	57.5	71.6	2.4
Ago	74.8	92.3	50.9	94.0	99.3	81.0	89.7	72.1	94.1	70.4	81.8	2.4
Sept	74.8	142.6	74.6	92.1	121.6	63.8	109.4	79.4	83.2	68.3	90.9	2.4
Oct	56.4	59.2	67.7	113.6	124.7	63.6	64.8	79.9	81.2	69.3	78.0	2.4
Nov	75.9	59.8	65.2	102.3	99.6	61.2	95.6	60.6	97.3	48.1	76.6	2.3
Dic	72.1	76.0	68.1	94.9	125.3	63.7	129.0	54.5	89.6	53.8	82.7	2.4
Ene-19	71.0	136.2	94.7	80.5	116.2	75.8	176.6	96.1	122.0	75.3	104.4	2.6
Feb	66.8	127.9	72.5	91.5	112.3	78.7	171.4	112.6	108.8	75.3	101.8	2.6
Mar	99.6	97.5	65.9	130.1	71.5	109.7	135.5	85.2	112.9	78.5	98.6	2.5
Abr	65.6	96.2	43.9	86.2	74.1	93.1	150.1	68.3	103.0	68.6	84.9	2.3
May	75.2	146.1	64.7	93.6	120.9	94.4	117.0	71.1	96.8	83.4	96.3	2.3
Jun	74.4	66.2	58.7	139.1	97.3	59.5	48.5	44.1	137.8	65.1	79.1	2.3
Media	72.3	97.8	65.2	101.0	104.8	78.2	113.3	73.3	98.8	67.8	87.2	
EEM	2.0	2.0	2.1	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0	2.0	1.9		
Media	88.2					86.3						
EEM	0.9					0.9						
Factores	Mes (A)	Sitio (B)		Especie (C)		A x B	A x C		B x C		A x B x C	
p	***	NS		***		***	***		***		***	

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

EEM, error estándar de la media.

*** Nivel de significancia a 0.001, ** Nivel de significancia a 0.01, NS, No significante.

Cuadro 8. Contenido foliar mensual de Mn (g kg⁻¹ materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media (n = 5).

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	34.7	13.5	44.2	30.4	57.6	32.4	24.1	19.6	27.4	23.8	30.8	0.9
Ago	34.8	12.1	30.7	28.4	40.1	25.3	18.3	22.3	34.0	39.3	28.5	0.9
Sept	43.7	13.1	38.4	40.1	55.4	35.9	25.1	24.3	32.6	52.5	36.1	0.9
Oct	26.4	21.5	57.3	34.5	48.2	44.9	22.1	29.2	26.2	32.8	34.3	0.9
Nov	22.9	18.8	78.6	35.6	49.6	29.8	16.7	19.6	32.0	25.3	32.9	1.0
Dic	32.8	28.3	78.9	47.9	64.2	29.3	25.3	36.9	51.3	38.1	43.3	0.9
Ene-19	25.9	25.9	54.3	30.9	70.3	45.7	27.4	46.6	48.7	38.9	41.4	1.0
Feb	32.9	26.2	58.3	36.3	64.6	35.8	22.5	46.0	59.2	48.1	43.0	1.0
Mar	52.5	23.4	50.0	36.3	31.8	33.3	22.4	26.4	26.6	31.0	33.4	0.9
Abr	32.4	21.1	37.8	31.1	40.9	24.2	28.4	22.4	21.6	33.2	29.3	0.9
May	33.6	23.8	33.6	31.4	56.6	27.0	28.0	25.1	34.4	43.8	33.8	0.9
Jun	29.2	18.5	37.9	41.1	59.9	36.6	28.1	32.3	47.0	55.9	38.6	0.9
Media	33.5*	20.5	50.0	35.3*	53.3	33.3*	24.0	29.2	36.7*	38.6	35.5	
EEM	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8		
Media	38.5					32.4						
EEM	0.4					0.4						
Factores	Mes (A)	Sitio (B)	Especie (C)		A x B	A x C		B x C		A x B x C		
p	***	***	***		***	***		***		***		

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiaacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

EEM, error estándar de la media.

*** Nivel de significancia a 0.001, ** Nivel de significancia a 0.01, * Factor de sitio no fue significativo entre las mismas especies de arbustivas.

Cuadro 9. Contenido foliar mensual de Zn (g kg^{-1} materia seca) en cinco especies arbustivas del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Los datos representan la media ($n = 5$).

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	9.6	14.2	23.8	7.7	24.5	11.0	11.4	24.1	14.9	22.4	16.4	0.5
Ago	6.1	9.7	13.8	6.6	17.2	10.8	7.4	27.5	8.3	15.4	12.3	0.5
Sept	5.2	8.3	15.4	2.0	9.1	6.4	8.3	20.2	9.8	14.2	9.9	0.5
Oct	5.7	10.0	22.9	2.1	16.0	6.4	6.2	21.6	7.9	13.4	11.2	0.5
Nov	7.1	11.8	34.1	1.9	14.0	8.1	5.0	36.5	12.1	17.1	14.8	0.5
Dic	9.3	17.7	30.4	5.0	14.1	8.6	8.0	37.9	10.7	15.1	15.7	0.5
Ene-19	8.4	14.4	30.2	6.8	14.5	8.8	10.2	47.0	19.0	14.1	17.3	0.5
Feb	11.3	15.7	43.7	5.6	14.0	6.0	9.1	70.3	10.4	15.1	20.1	0.5
Mar	10.1	31.1	32.8	14.1	40.0	18.5	19.5	48.4	35.1	39.2	28.9	0.5
Abr	18.8	22.8	28.9	11.2	25.6	20.2	19.3	38.9	16.8	22.8	22.5	0.5
May	17.6	19.5	28.4	10.5	22.6	19.7	23.8	30.2	19.4	27.4	21.9	0.5
Jun	15.7	16.1	28.1	9.3	20.5	18.7	15.1	36.0	23.9	32.8	21.6	0.5
Media	10.4	15.9	27.7	6.9	19.4	11.9	11.9	36.5	15.7	20.8	17.7	
EEM	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
Media			16.1					19.4				
EEM			0.2					0.2				
Factores	Mes (A)	Sitio (B)		Especie (C)		A x B	A x C		B x C		A x B x C	
p	***	***		***		***	***		***		***	

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiaecum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

EEM, error estándar de la media.

*** Nivel de significancia a 0.001, ** Nivel de significancia a 0.01.

11.6.- Discusión

El contenido de calcio fue mayor en Linares, en comparación con Los Ramones, esto contrasta con lo reportado por Domínguez-Gómez *et al.* (2014). También *C. pallida* tuvo las concentraciones más altas en nuestro estudio. Independientemente de la ubicación, la especie o los meses. El contenido foliar de Ca (media total = 40.0 g kg⁻¹) de las arbustivas evaluados excedió el requerimiento de Ca recomendado para venado cola blanca, ovejas y cabras adultos 5.1, 3.0, 5.3 g kg⁻¹ MS para Ca, respectivamente; NRC (2007). Probablemente el alto contenido de Ca en estos sitios se deba a que el suelo, es un Calcisol con pH alto (Cantú *et al.*, 2018). Las altas concentraciones de Ca contenidas en el suelo eventualmente se reflejarán en las hojas de las plantas (Fan *et al.*, 2019). El alto contenido de calcio en plantas consumidas por rumiantes en pastoreo extensivo en regiones semiáridas también fue informado por Habib *et al.* (2016) en Pakistán y por Guerrero-Cervantes *et al.* (2012) en el norte de México.

En el presente estudio, independientemente de la especie de arbusto, el mes de muestreo o el sitio, el contenido de P (media total = 1.3 g kg⁻¹ MS) fue insuficiente para cumplir con los requerimientos NRC (2007) de los pequeños rumiantes maduros (2.7, 2.8 y 2.6 g kg⁻¹ MS de P, para ovinos, caprinos y venado cola blanca), e indicó que existe un problema con la fuente y uso del fósforo, y las arbustivas evaluadas no representan una fuente suplementadora de P. El bajo contenido de P en plantas nativas que crecen en regiones semiáridas del norte de México también fue informado por Guerrero-Cervantes *et al.* (2012), Ramírez *et al.* (2010) y Domínguez-Gómez *et al.* (2014). Por lo tanto, de acuerdo con esta situación, la suplementación con fósforo para pequeños rumiantes en regiones semiáridas para cumplir con sus requisitos es recomendada por Mahmood *et al.* (2014).

Los resultados obtenidos, derivados en una relación Ca:P de 40:1, fueron mayores en comparación con las relaciones Ca:P amplias reportadas por Ramírez *et al.* (2010). Según Wilkens *et al.* (2012), existen diferencias entre

especies de rumiantes en los mecanismos para mantener la homeostasis del Ca, mientras que los pequeños rumiantes tienen mecanismos que les ayudan a adaptar dietas con niveles bajos de P (Huber *et al.*, 2002). Al parecer, cabras, ovejas y venados de cola blanca pueden adaptarse a altas proporciones de Ca: P sin verse afectados en su metabolismo (Ramírez, 1999).

Si bien el contenido de K (media total = 15.4 g kg⁻¹ MS) varió entre sitios, especies y meses, este macronutriente estuvo presente en cantidades suficientes para cubrir los requerimientos de crecimiento (6.5, 4.6 y 4.6 g kg⁻¹ MS para K), para cabras, ovejas y venado cola blanca, respectivamente por NRC (2007). Una excepción fueron los valores registrados para *G. angustifolium* (4.1 g kg⁻¹ MS) durante octubre y noviembre en el sitio de Linares. En el presente estudio, el contenido foliar de K fue generalmente tres veces mayor que el requerido para los pequeños rumiantes. Estos resultados son consistentes con los reportados por Derero y Kitaw (2018), donde el potasio fue el macromineral con la segunda concentración más alta después del Ca en las especies de árboles forrajeros en áreas pastorales y agro-pastoriles en el este de Etiopía. Domínguez-Gómez *et al.* (2014), reportaron resultados similares en regiones semiáridas en el noreste de México y Habib *et al.* (2016), en pastizales áridos y semiáridos del norte de Pakistán y sugirió que la suplementación con sodio podría evitar las deficiencias causadas por altas concentraciones de K.

Todas las especies, excepto *P. aculeata* (1.4 g kg⁻¹ MS) en el sitio Los Ramones durante febrero y *F. angustifolia* (1.2 g kg⁻¹ MS) en el sitio Linares en mayo, respectivamente, contenían suficiente Mg foliar (promedio total = 3.7 g kg⁻¹ MS) durante todo el año para cumplir con los requerimientos metabólicos por NRC (2007) de ovejas adultas (1.5 g kg⁻¹ MS de Mg). De lo contrario, *P. aculeata* (1.5 g kg⁻¹ MS) en ambos sitios y *F. angustifolia* (1.5 g kg⁻¹ MS) en el sitio de Linares durante abril mostraron niveles insuficientes para cumplir con los requisitos para cabras y venado cola blanca (1.6 g kg⁻¹ MS de Mg). Ramírez *et al.* (2001) en 14 arbustos nativos del noreste de México, Ramírez *et al.* (2010) y Domínguez-Gómez *et al.* (2014) para 6 y 4 arbustivas nativas del noreste de México, respectivamente, también argumentaron que el bajo contenido de Mg en los

meses de invierno podría deberse a las bajas temperaturas. En el presente estudio, la temperatura promedio durante diciembre y febrero osciló entre 14.3 °C y 18.2 °C. Estas temperaturas mensuales más bajas registradas, podrían explicar por qué se encontraron los niveles más bajos de Mg en estos meses durante el estudio.

En general, las especies estudiadas contenían cantidades insuficientes de Cu foliar (media total = 6.4 mg kg⁻¹ MS), sin embargo, los contenidos adecuados estuvieron presentes eventualmente en todas las especies de arbustos a lo largo del año. Las especies *C. suaveolens* (media del sitio Linares = 9.3 mg kg⁻¹ MS) y *P. aculeata* (media del sitio Linares = 10.4 mg kg⁻¹ MS) mostraron niveles suficientes de Cu foliar para satisfacer los requerimientos de pequeños rumiantes adultos (9.0 mg kg⁻¹ MS de Cu, para ovinos, caprinos y venado cola blanca), señalados por NRC (2007). Este resultado concuerda con los informes de Ramírez *et al.* (2010) y Guerrero-Cervantes *et al.* (2012), en especies nativas consumidas por pequeños rumiantes en regiones semiáridas del noreste y norte de México, durante los meses de primavera. Ramírez *et al.* (2001) indicó que el mayor contenido de Cu observado se basa en el patrón estacional de crecimiento de las plantas, sobre el cual las tasas de crecimiento parecían ser más altas durante la temporada de primavera en esta región. Según Ramírez-Orduña *et al.* (2005), los niveles bajos de Cu en los arbustos podrían deberse al alto pH del suelo en las regiones semiáridas de Baja California Sur, México.

En todas las especies de arbustos estudiadas, las concentraciones de Fe (media total = 87.2 mg kg⁻¹ MS) excedieron los requisitos de la NRC (2007), para ovejas, cabras y venado cola blanca (50 mg kg⁻¹ MS de Fe). Niveles satisfactorios de hierro para pequeños rumiantes han sido reportados por Ramírez-Orduña *et al.* (2005), Guerrero-Cervantes *et al.* (2012) en el norte de México y por Habib *et al.* (2016) en pastizales semiáridos de Pakistán.

Todas las especies, con excepción de *C. suaveolens* (media del sitio Linares = 20.5 Mn mg kg⁻¹ MS y media del sitio Los Ramones = 24.0 Mn mg kg⁻¹ MS), tienen suficiente contenido de Mn en hojas (media total = 35.5 mg kg⁻¹) para cumplir con

los requisitos de la NRC (2007) de 30 mg kg^{-1} MS de Mn, para ovinos, caprinos y venado cola blanca. Guerrero-Cervantes *et al.* (2012), reportaron niveles bajos de Mn en hojas de arbustos del norte de México. El bajo nivel de Mn en agosto en este estudio podría estar asociado a la estación seca, también reportado para árboles pequeños y arbustos nativos que crecen en diferentes pastizales de México por Ramírez *et al.* (2006). Además, el alto contenido foliar de Ca puede incrementar los requerimientos de Mn por parte de los pequeños rumiantes, debido a la probable obstrucción de la absorción de Mn (Ramírez *et al.*, 2010).

Las especies de plantas arbustivas de este estudio no mostraron concentraciones consistentes de Zn (media total = 17.7 mg kg^{-1} MS) para cumplir con los requisitos de NRC (2007) de 40, 45 y 45 mg kg^{-1} MS de Zn, para ovejas, cabras y venado cola blanca, por separado. Se registraron concentraciones aceptables para ovinos en *F. angustifolia* en los meses de enero (sitio Los Ramones 47.0 mg kg^{-1} MS), febrero (sitio Linares = 43.7 mg kg^{-1} MS y sitio Los Ramones = 70.3 mg kg^{-1} MS) y marzo (sitio Los Ramones = 48.4 mg kg^{-1} MS). En el caso de *P. aculeata*, solo en marzo (sitio Linares 40.0 mg kg^{-1} MS) se registraron valores aceptables para ovinos, de acuerdo con nuestros resultados marzo mostró los niveles más altos de Zn, estudios previos demostraron que esta situación generalmente se presenta en arbustivas tropicales durante la temporada de primavera (Hassen *et al.*, 2007). Ramírez *et al.* (2010) y Domínguez-Gómez *et al.* (2014) reportaron niveles similares de Zn en plantas nativas del noreste de México. Estos autores mencionan que solo algunas especies pueden cumplir con los requisitos de los rumiantes adultos durante ciertas estaciones del año. De la misma manera, Habib *et al.* (2016) informaron que solo ciertas especies contienen niveles adecuados de Zn para el pastoreo de pequeños rumiantes en las regiones semiáridas del norte de Pakistán.

12.- CAPÍTULO II: COMPOSICIÓN DE LA PARED CELULAR Y DIGESTIBILIDAD DE CINCO ARBUSTIVAS NATIVAS DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN EL NORESTE DE MÉXICO

CHAPTER II: CELL-WALL COMPOSITION AND DIGESTIBILITY OF FIVE NATIVE SHRUBS OF THE TAMAULIPAN THORNSCRUB IN NORTHEASTERN MEXICO

12.1.- Resumen

Muchos árboles y arbustos de diferentes partes del mundo tienen potencial forrajero, ya que son productos locales de bajo costo, utilizados por los pequeños rumiantes como recurso alimenticio, algunos de estos arbustos nativos ya son importantes recursos forrajeros en regiones áridas y semiáridas del Noreste de México. El objetivo de este estudio fue determinar la composición de la pared celular y la digestibilidad *in vitro* de las hojas de cinco especies arbustivas: *Celtis pallida*, *Croton suaveolens*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiaacum angustifolium* y *Parkinsonia aculeata*. El material vegetal se recolectó mensualmente de julio 2018 a junio 2019 en dos sitios de muestreo en Nuevo León, México: municipios de Linares y Los Ramones. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se calculó utilizando el incubador Daisy^{II}. Los carbohidratos no estructurales (CNE) (media total = 22.4% materia seca) variaron significativamente entre especies, sitios y meses ($p < 0.001$, $p < 0.05$ y $p < 0.001$, respectivamente). Por el contrario, ni lignina detergente ácida (LDA) (8.4%), proteína cruda (PC) (21.9%), celulosa (12.5%), hemicelulosa (20.8%), ni la DIVMS (75.5%) variaron significativamente entre los sitios. En general, los valores de CNE fueron mayores en Linares. Los valores de DIVMS más altos y bajos según el incubador Daisy^{II} se registraron en marzo y septiembre, respectivamente. *C. pallida* mostró la mayor DIVMS asociado con un contenido alto de hemicelulosa y bajo de LDA,

mientras que *P. aculeata* mostró un menor valor de DIVMS y un alto contenido de celulosa. Todas las especies mantuvieron niveles de digestibilidad considerablemente altos, lo que podría indicar una disponibilidad de altos niveles de PC para el consumo de rumiantes en las regiones semiáridas del noreste de México. Se concluye que las especies en estudio pueden considerarse como un recurso de alimentación de emergencia para pequeños rumiantes durante todo el año.

Palabras clave: Celulosa; digestibilidad; hemicelulosa; hojas; proteína; recursos forrajeros.

12.2.- Abstract

Many trees and shrubs from different parts of the world have forage potential, because they are inexpensive local products used for small ruminants as feed resource, some of these native shrubs are currently already an important fodder resources in arid and semi-arid regions of Northeastern México. The aim of this study was to determine the cell-wall composition and *in vitro* leaf digestibility of five shrub species: *Celtis pallida*, *Croton suaveolens*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiaacum angustifolium* and *Parkinsonia aculeata*. Plant material was collected monthly from July 2018 to June 2019 at two sampling sites in Nuevo León, México: Linares and Los Ramones Counties. *In vitro* dry matter digestibility (IVDMD) was calculated using the Daisy^{II} incubator. Non-structural carbohydrates (NSC) (total mean = 22.4% dry matter) varied significantly among species, sites, and months ($p < 0.001$, $p < 0.05$ and $p < 0.001$, respectively). Conversely, neither acid detergent lignin (ADL) (8.4%), crude protein (CP) (21.9%), cellulose (12.5%), hemicellulose (20.8%), nor IVDMD (75.5%) varied significantly between sites. In general, NSC values were higher in Linares. The highest and lowest IVDMD values as per the Daisy^{II} incubator were recorded in March and September, respectively. *C. pallida* showed the highest IVDMD associated with a high hemicellulose and low ADL values, whereas *P. aculeata* showed a lower IVDMD value and high cellulose content. All species maintained considerably high levels

of digestibility, which might indicate an availability of high CP levels for consumption by ruminants in the semi-arid regions of northeastern México. It is concluded that the species under study can be considered as emergency feed resources for small ruminants throughout the year.

Key words: Cellulose; digestibility; fodder resources; hemicellulose; leaves; protein.

12.3.- Introducción

Se ha reportado que muchos árboles y arbustos de diferentes partes del mundo tiene potencial forrajero, proteína y contenido mineral, además análisis de digestibilidad *in vitro* han demostrado que pueden ser un valioso alimento suplementario para rumiantes en pastoreo en sistemas extensivos (Ammar *et al.*, 2004; Guerrero *et al.*, 2012; Habib *et al.*, 2016; Luske y van Eekeren, 2018). Una limitación importante en el desempeño de los rumiantes en pastoreo en las regiones áridas y semiáridas es la escasez de pastos de alta calidad, situación que se vuelve crítica durante la época seca, cuando la digestibilidad de los tejidos foliares de los arbustos y el consumo de alimento por el ganado y pequeños rumiantes disminuye; Además, la reducción en la disponibilidad de alimentos y nutrientes afecta a las cabras, ovejas y rumiantes silvestres en menor medida que a los bovinos en estas áreas (Assouma *et al.*, 2018), debido al comportamiento de ramoneo de los pequeños rumiantes, que se realiza con mayor frecuencia por las cabras y, de manera oportunista por los ovinos, cuando los pastos son de mala calidad o no disponibles por efecto de las condiciones secas en esta época del año (Sanon *et al.*, 2007). Los hábitos de ramoneo están dirigidos al consumo de especies de plantas arbustivas/herbáceas leguminosas y no leguminosas que permanecen verdes y muestran un contenido relativo de nutrientes durante todo el año (Guerrero *et al.*, 2008). Algunos de estos árboles y arbustos son ya importantes recursos forrajeros para los rumiantes, como sugieren varios estudios y evaluaciones. Este es el caso de algunas de las plantas nativas del matorral de espinoso del tamaulipeco, un ecosistema

semiárido del noreste de México, en el que hasta la fecha mediante métodos de producción de gas *in vitro* o *in situ*, no se han detectado sustancias tóxicas o de baja palatabilidad, como los taninos, en las hojas de las especies arbustivas *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae), *Croton suaveolens* Torr. (Euphorbiaceae), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae), *Guaiaacum angustifolium* Engelm. (Zygophyllaceae) y *Parkinsonia aculeata* L. (Fabaceae), en cantidades que pueden limitar su uso como forraje (Domínguez *et al.*, 2011; Ramírez *et al.*, 2000). Además, su preferencia por el consumo de pequeños rumiantes ha sido demostrada por Ramírez *et al.* (1997) y Foroughbakhch *et al.* (2013). De hecho, muchos árboles y arbustos pueden y se utilizan para la alimentación de rumiantes porque son productos locales económicos (Seidavi *et al.*, 2018). Además, debido a su alto valor, las especies nativas ramoneadas por los rumiantes en las áreas de pastoreo y agro-pastoriles deben ser restauradas y conservadas para una producción ganadera sostenible (Derero y Kitaw, 2018), aunque los árboles y arbustos forrajeros son perennes, los pastos desaparecen de los agostaderos bajo regímenes de pastoreo de alta intensidad debido a su contenido de carbohidratos, especialmente carbohidratos no estructurales (CNE), por lo que su rápido rebrote después del ramoneo de los rumiantes requiere un manejo cuidadoso (Heyden y Stock, 2016).

Las técnicas *in vitro* se utilizan comúnmente para evaluar la calidad nutricional de los alimentos debido a su conveniencia, adaptabilidad y eficiencia, especialmente la evaluación mediante el incubador Daisy^{II} para determinar la digestibilidad del forraje (Holden, 1999). Esta técnica se utiliza en diferentes tipos de forrajes, desde convencionales hasta arbustos. No obstante, como se ha mencionado, la técnica requiere ajustes según las propiedades químicas del material vegetal (Norman *et al.*, 2010); sin embargo, también se ha comprobado su confiabilidad con forrajes con diferentes cantidades de fibras y se ha recomendado su uso por su factibilidad, repetibilidad y requerimiento mínimo de uso de animales, ya que se obtienen resultados confiables al compararlos con pruebas *in vivo*, con muy poca variación entre técnicas (Trujillo *et al.*, 2010).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la proteína cruda (PC), la composición de la pared celular que incluye celulosa, hemicelulosa y lignina detergente ácido (LDA), carbohidratos no estructurales (CNE) y digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) de cinco especies de arbustos, *Celtis pallida* Torr., *Croton suaveolens* Torr., *Forestiera angustifolia* Torr., *Guaiaacum angustifolium* Engelm., y *Parkinsonia aculeata* L., que podrían ser utilizados como alimento para rumiantes en las regiones semiáridas del noreste de México.

12.4.- Materiales y métodos

12.4.1.- Ubicación de los sitios de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en dos sitios en el estado de Nuevo León, México, a saber, en los municipios de Linares y Los Ramones. La siguiente es una breve descripción de las características físicas de cada sitio de estudio: Sitio 1, Linares; ubicado en el campo Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (24° 47'45'' N; 99° 32'31'' O; a una altura de 350 m sobre el nivel del mar). El clima en este sitio es subtropical y semiárido con un verano cálido (González *et al.*, 2004). La temperatura media del aire registrada durante el período experimental de julio de 2018 a junio de 2019 fue de 14.1 °C en enero a 30.4 °C en agosto y la precipitación ascendió a 554 mm. Sitio 2, Los Ramones; ubicado en "Rancho El Abuelo" en el municipio de Los Ramones. La ubicación geográfica es 25° 39'46'' N; 99 ° 27'51'' O; con una superficie de 100 ha y una elevación de 200 m sobre el nivel del mar. El clima en este sitio es semiárido con veranos cálidos (González *et al.*, 2004). La temperatura media mensual del aire durante el estudio varió de 14.3 °C en enero a 31.5 °C en agosto. La precipitación total registrada para el período experimental fue de 667 mm.

12.4.2.- Frecuencia de muestreo y recolección

Se marcaron parcelas experimentales (50 m x 50 m) en un área sin perturbación y representativa de cada sitio de estudio, en las cuales se recolectaron muestras

de hojas a una altura de 1.0 a 1.5 m del suelo, de tres individuos seleccionados al azar, representativos de cada una de las cinco especies de arbustivas seleccionadas para el estudio; *C. pallida*, *C. suaveolens*, *F. angustifolia*, *G. angustifolium* y *P. aculeata*. La frecuencia de muestreo del material vegetal foliar se realizó a intervalos mensuales desde julio de 2018 hasta junio de 2019, siendo los periodos estacionales en la zona; verano (julio, agosto y junio), otoño (septiembre, octubre y noviembre), invierno (diciembre, enero y febrero) y primavera (marzo, abril y mayo).

12.4.3.- Preparación de las muestras

El material foliar muestreado fue trasladado al Laboratorio de Química y Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Forestales. Las muestras se secaron por primera vez en un horno de aire forzado (Felisa®, Modelo FE-292AD, México) a 55 °C durante 24 h, antes de separar las hojas de las ramas. Una vez que las hojas se agruparon por mes, especie, replicación y sitio, se procesaron en un molino Thomas Willey (Thomas Scientific Apparatus, Modelo 3383) utilizando una malla No. 60 (1 mm x 1 mm) y se almacenaron en una cremallera Reynolds®. bolsas (20.3 cm x 17.7 cm) a una temperatura ambiente de 24 °C hasta el análisis.

12.4.4.- Determinación de la composición química de las muestras tejido foliar

La materia seca de la hoja (MS, g) se determinó por triplicado pesando 1.0 g de cada muestra de hoja previamente secada a 100 °C durante 24 h en un horno de aire forzado (Felisa®, Modelo FE-292AD, México). Los contenidos de materia orgánica (MO, %) y cenizas (%) (núm. 942.05, AOAC 2012) se midieron mediante incineración en una mufla eléctrica (Thermo Scientific, Modelo F48010, EE.UU.) A 550 °C.

El contenido de carbono y nitrógeno se analizó según el principio de Dumas mediante un método de combustión total (núm. 990.03, AOAC 2012) utilizando un analizador CHNSO (2400 serie II, Perkin-Elmer). El porcentaje de proteína

cruda (PC, %) se determinó multiplicando N (% contenido) x 6.25 N. La fibra detergente neutra (FDN,%) y la fibra detergente ácido (FDA,%) se analizaron utilizando un digestor de fibra ANKOM²⁰⁰ (ANKOM Technologies, Fairport, Nueva York, EE.UU.); a su vez, la lignina detergente ácida (LDA,%) se determinó mediante solubilización de celulosa con ácido sulfúrico, siguiendo los procedimientos descritos por Van Soest *et al.* (1991). Las estimaciones de hemicelulosa (FDN-FDA, %) y celulosa (FDA-LDA, %) se obtuvieron por diferencia (Lanzas *et al.*, 2007). El extracto de etéreo (EE) se obtuvo con éter de petróleo usando un extractor Ankom^{XT15} (AOCS AM 5-04). El contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) se calculó mediante el métodos gravimétricos basados en el análisis químicos de alimentos de acuerdo con la siguiente ecuación (Van Soest *et al.*, 1991):

$$\text{CNE} = 100 - (\% \text{ FDN} + \% \text{ Proteína Cruda} + \% \text{ EE} + \% \text{ Cenizas})$$

12.4.5.- Digestibilidad verdadera *in vitro* (Daisy II)

Este estudio se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal y Calidad Alimentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. La digestibilidad *in vitro* se calculó mediante el procedimiento Daisy^{II} (ANKOM, 2000). Brevemente, muestras triplicadas de aproximadamente 250 mg de MS cada una, se colocaron en bolsas de filtro de poliéster multicapa (F57; 5.0 cm x 5.5 cm, ANKOM Technology Corp., Macedon, NY) previamente lavadas con acetona y secadas en un horno de aire forzado a 60 °C durante dos horas. Las bolsas se sellaron y se colocaron en frascos de digestión (25 bolsas por frasco). Los frascos se colocaron en un incubador Daisy^{II} (ANKOM Technology Corp., Macedon, NY). Se preparó un inóculo diluyendo líquido ruminal obtenido de dos borregos de raza Saint Croix provistas de cánula ruminal y alimentadas con una ración con una relación forraje: concentrado: 80%: 20% (esta relación no contenía material foliar de las arbustivas estudiadas) y una solución tampón en una proporción de 1:4 de acuerdo con las especificaciones y directrices del fabricante. El inóculo se incorporó a los frascos previamente purgados con CO₂. Después

de un período de incubación de 48 h a 39 °C, los frascos se retiraron de la cámara de incubación y las bolsas se lavaron con agua destilada. Posteriormente, las bolsas se colocaron en el analizador de fibra Ankom²⁰⁰ (ANKOM Technology Corp., Macedon, NY) y se trataron con una solución de detergente neutro durante 75 min. Las bolsas se enjuagaron con agua caliente y acetona y luego se secaron a 55 °C. La digestibilidad *in vitro* se calculó como la diferencia entre la MS al inicio de la incubación y el residuo después del tratamiento con FDN.

12.4.6.- Variables ambientales

Para medir la influencia de la temperatura y la precipitación en cada sitio, se instalaron sensores HOBO automatizados (HOBO Pro Temp / RH Series, Forestry Suppliers, Inc., Jackson, MS, USA) Para registrar variables ambientales como la temperatura del aire y la humedad relativa. Estos sensores se programaron para la recopilación de datos a intervalos de una hora. La cantidad diaria de lluvia (mm) se cuantificó utilizando un pluviómetro automático (Davis, CA, USA) Conectado a un registrador de inicio de eventos (HOBO, Bourne, MA, USA).

12.4.7.- Análisis estadístico

El análisis estadístico (ANOVA y comparación de medias) de los datos de composición química y digestibilidad *in vitro* se analizó según un diseño completamente al azar con arreglo factorial, siendo los factores especie (5), sitios (2) y meses (12). También se consideraron interacciones dobles y triples (Montgomery, 2004). Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza se verificaron utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene (PC, NSC y DIVMS). Cuando no se cumplió la distribución normal u homogeneidad de varianzas, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (ceniza, celulosa, hemicelulosa y LDA) y las medias se compararon mediante la prueba U de Mann-Whitney ($p < 0.05$). El análisis de correlación de Pearson se realizó entre la composición química, el DIVMS, la temperatura del aire, la humedad relativa y las precipitaciones registradas durante el período experimental.

Se utilizó la prueba Tukey HSD para la comparación de medias $p < 0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software de análisis estadístico SPSS (SPSS para Windows, versión 22.0, Chicago, IL, USA).

12.5.- Resultados

12.5.1.- Composición química

El contenido de ceniza, celulosa, hemicelulosa y LDA se muestra en los cuadros 10, 11, 12 y 13, respectivamente. El contenido medio general de cenizas en Linares y Los Ramones fue de 12.2% y 11.3%, respectivamente (Cuadro 10). Entre las especies, *C. pallida* (23.3%, Los Ramones) presentó el mayor contenido de cenizas, mientras que *P. aculeata* (4.8%, Linares) presentó el menor contenido en noviembre y marzo, respectivamente (Cuadro 10).

Con respecto a la celulosa, se observaron contenidos mayores y menores en *P. aculeata* (22.6%) en diciembre en Los Ramones y en *C. pallida* (7.1%) en mayo en Linares (Cuadro 11). El contenido medio de celulosa general en el tejido foliar fue de 12,45% y no difirió ($p > 0.05$) entre sitios.

El contenido medio general de hemicelulosa fue de 21.7% y 19.9% para Los Ramones y Linares, respectivamente (Cuadro 12). Los contenidos de hemicelulosa más altos (44.0%) y más bajos (8.0%) se encontraron en marzo en Los Ramones para *C. suaveolens* y *G. angustifolium*, respectivamente (Cuadro 12).

Mientras tanto, el contenido medio general de LDA (8.35%) fue similar ($p > 0.05$) en los sitios de Linares y Los Ramones (Cuadro 13). En ambos sitios, los valores de las medias más altos (16.6%) y más bajos (1.1%) se observaron durante mayo en *G. angustifolium* (Linares) y en *C. pallida* (Los Ramones), respectivamente (Cuadro 13).

Cuadro 10. Contenido foliar mensual de ceniza (% materia seca) en cinco especies de arbustos del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Se muestran los estadísticos de Kruskal-Wallis por mes, sitio y especie.

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	22.3	7.2	9.3	16.7	10.7	19.4	9.0	6.5	11.4	7.3	12.0	0.2
Ago	17.1	5.7	6.8	22.2	9.4	22.1	7.4	7.2	15.8	8.5	12.2	0.2
Sept	22.0	6.0	6.0	17.4	9.8	20.9	8.1	6.3	12.7	8.3	11.7	0.2
Oct	19.4	10.1	6.8	18.6	8.8	18.9	8.5	6.8	15.3	6.7	11.9	0.2
Nov	21.3	8.9	7.2	21.1	10.1	23.3	8.3	7.3	16.4	6.5	13.1	0.2
Dic	21.3	8.1	7.5	18.3	9.5	21.6	7.5	6.8	16.6	6.3	12.4	0.2
Ene-19	24.7	7.8	9.1	16.9	8.3	21.2	7.9	8.0	17.7	6.5	12.8	0.2
Feb	23.8	8.6	6.7	17.3	8.2	21.0	7.7	10.6	18.4	6.4	12.9	0.2
Mar	26.2	7.3	6.6	13.5	4.8	20.3	7.6	7.2	9.4	5.2	10.8	0.2
Abr	18.1	9.0	6.4	9.9	6.3	17.3	8.5	6.8	9.8	5.3	9.7	0.2
May	21.0	8.2	5.5	9.3	6.9	19.0	7.8	5.0	11.0	6.2	9.9	0.2
Jun	20.0	8.0	7.2	11.9	8.7	20.2	8.3	6.4	13.9	7.0	11.8	0.2
Media	21.4	7.9	7.1	16.1	8.5	20.4	8.1	7.1	14.0	6.7	11.7	
EEM	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
Media	12.2					11.3						
EEM	0.1					0.1						
Estadísticos	Mes					Sitio					Especies	
χ^2	14.3					3.7					267.5	
gl	11					1					4	
Valor p	0.191					0.053					<0.001	

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

Data representa media (n=3). EEM, error estándar de la media.

gl; grados de libertad.

Cuadro 11. Contenido foliar mensual de celulosa (% , materia seca) en cinco especies de arbustos del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Se muestran los estadísticos de Kruskal-Wallis por mes, sitio y especie.

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	8.4	18.7	9.8	11.0	17.4	10.1	18.5	7.8	9.6	22.1	13.3	0.3
Ago	9.2	19.7	7.8	10.4	18.8	9.7	16.8	6.7	9.2	21.0	12.9	0.3
Sept	9.8	19.5	8.8	10.2	17.0	8.6	19.8	8.1	13.5	15.9	13.1	0.3
Oct	9.9	14.8	10.0	11.1	15.1	8.8	15.7	8.2	9.5	19.7	12.3	0.3
Nov	8.7	17.5	8.7	8.7	17.3	8.3	16.0	8.5	8.6	19.5	12.2	0.3
Dic	8.1	15.0	8.6	9.8	18.1	8.1	14.2	9.8	9.5	22.6	12.4	0.3
Ene-19	8.0	14.1	10.2	11.2	18.4	8.7	15.7	7.6	8.7	20.5	12.3	0.3
Feb	7.2	13.3	7.2	9.9	18.0	8.0	14.4	8.1	8.4	20.8	11.5	0.3
Mar	7.4	17.5	9.1	8.6	17.9	8.9	13.9	7.9	7.5	18.6	11.7	0.3
Abr	8.8	16.3	9.2	14.6	16.2	9.0	13.8	8.8	12.6	22.2	13.2	0.3
May	7.1	15.3	6.9	14.6	16.5	8.3	13.4	7.2	11.4	20.9	12.2	0.3
Jun	8.7	14.8	6.9	13.8	17.2	8.5	15.3	7.8	11.8	18.8	12.4	0.3
Media	8.4	16.4	8.6	11.2	17.3	8.7	15.6	8.0	10.0	20.2	12.5	
EEM	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
Media	12.4					12.5						
EEM	0.1					0.1						
Estadísticos	Mes					Sitio					Especies	
χ^2	9.3					0.2					274.8	
gl	11					1					4	
Valor p	0.593					0.681					<0.001	

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

Data representa media (n=3). EEM, error estándar de la media.

gl; grados de libertad.

Cuadro 12. Contenido foliar mensual de hemicelulosa (% , materia seca) en cinco especies de arbustos del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Se muestran los estadísticos de Kruskal-Wallis por mes, sitio y especie.

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	36.0	19.0	15.4	12.2	17.1	37.7	16.4	17.9	13.9	18.6	20.4	0.5
Ago	37.9	18.8	12.7	14.7	19.2	40.3	17.2	15.8	12.8	18.8	20.8	0.5
Sept	39.2	20.5	19.3	12.6	19.9	41.9	20.9	25.4	20.0	22.4	24.2	0.5
Oct	38.5	31.4	22.6	12.6	17.6	34.7	19.0	18.5	12.7	18.9	22.7	0.5
Nov	27.0	20.1	17.4	10.2	18.6	43.5	17.8	17.8	16.9	20.5	21.0	0.5
Dec	27.7	18.5	17.3	14.1	22.7	42.4	18.6	14.9	13.7	19.4	20.9	0.5
Ene-19	18.5	19.5	18.2	15.2	19.4	40.7	15.4	14.8	9.1	16.4	18.7	0.5
Feb	20.0	14.7	15.0	12.1	15.5	27.4	18.4	17.6	16.2	19.7	17.7	0.5
Mar	33.0	20.9	15.7	10.0	19.8	36.7	44.0	15.5	8.8	30.1	23.5	0.5
Abr	30.4	20.4	15.3	16.6	27.5	41.1	16.9	13.2	14.0	17.5	21.3	0.5
May	22.9	18.0	16.7	15.7	18.6	32.2	16.2	17.2	14.1	20.2	19.2	0.5
Jun	32.6	16.1	14.0	13.9	17.3	39.4	16.1	12.1	14.9	19.3	19.6	0.5
Media	30.3	19.8	16.6	13.3	19.4	38.2	19.7	16.7	13.9	20.1	20.8	
EEM	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
Media	19.9					21.7						
EEM	0.2					0.2						
Estadísticos			Media			Sitio			Especies			
χ^2			23.3			0.5			222.1			
gl			11			1			4			
Valor p			0.016			0.458			<0.001			

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

Data representa media (n=3). EEM, error estándar de la media.

gl; grados de libertad.

Cuadro 13. Contenido foliar mensual de lignina detergente acida (% , materia seca) en cinco especies de arbustos del noreste de México muestreadas en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019. Se muestran los estadísticos de Kruskal-Wallis por mes, sitio y especie.

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	2.0	5.5	7.1	13.2	8.9	3.6	5.9	7.4	15.7	9.4	7.9	0.2
Ago	2.5	6.8	6.3	14.3	9.3	3.2	5.0	7.9	15.7	9.4	8.1	0.2
Sept	2.9	6.7	6.6	14.7	9.3	2.9	14.1	7.6	13.6	11.4	9.0	0.2
Oct	2.5	9.4	7.8	14.4	9.4	2.0	8.2	8.3	13.8	10.6	8.6	0.2
Nov	2.3	5.8	11.3	15.1	8.6	1.7	5.2	14.3	14.8	10.0	8.9	0.2
Dic	2.4	9.6	12.3	13.7	9.9	1.7	7.7	8.2	12.8	13.0	9.1	0.2
Ene-19	2.5	9.2	8.3	14.2	10.0	2.1	7.1	7.3	11.9	10.3	8.3	0.2
Feb	1.7	7.4	7.0	13.3	10.5	2.0	7.2	8.0	13.5	11.8	8.2	0.2
Mar	1.2	5.1	12.9	11.7	5.1	2.2	5.8	10.8	9.2	6.0	7.0	0.2
Abr	1.9	3.5	9.7	14.0	7.0	1.6	3.5	10.9	14.0	9.4	7.6	0.2
May	2.8	7.7	13.3	16.6	10.0	1.1	4.1	12.1	14.4	10.2	9.2	0.2
Jun	2.3	5.0	9.4	15.3	10.6	1.4	5.5	10.6	14.2	9.5	8.4	0.2
Mean	2.3	6.8	9.3	14.2	9.1	2.1	6.6	9.5	13.6	10.1	8.4	
EEM	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
Media	8.3					8.4						
EEM	0.1					0.1						
Estadísticos	Mes					Sitio					Especies	
χ^2	9.0					0.006					279.2	
gl	11					1					4	
Valor p	0.619					0.937					<0.001	

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

Data representa media (n=3). EEM, error estándar de la media.

gl; grados de libertad.

Según el ANOVA, los contenidos de proteína cruda (Cuadro 14) y carbohidratos no estructurales (Cuadro 15) fueron significativamente diferentes entre especies, meses y sitios (excepto proteína cruda). Las interacciones dobles mes * sitio, mes * especies, sitio * especies (excepto PC) y la triple interacción mes * sitio * especies fueron todas significativas (p <0.001).

Con respecto a la PC, se observaron contenidos máximos (36.7% en noviembre en Linares) y mínimos (10.3% en junio en Linares) en *C. pallida* y *F. angustifolia*, respectivamente (Cuadro 14). El contenido de PC fue similar ($p>0.05$) en ambos sitios (22%).

Linares y Los Ramones registraron un valor medio global de carbohidratos no estructurales (CNE) de 22.5% y 21.5%, respectivamente (Cuadro 15). Los valores máximos de CNE se observaron para *F. angustifolia* en Linares (49.9%) y Los Ramones (48.9%) en junio, mientras que los valores mínimos se detectaron en *C. pallida* con 0.1% (octubre) y 0.1% (agosto, septiembre y noviembre). en Linares y Los Ramones, respectivamente (Cuadro 15).

12.5.1.- Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

Los valores de digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) se encontraron más altos en marzo (79.0%) y más bajos en septiembre (74.1%) se muestran en el cuadro 16. La DIVMS promedio para ambos sitios fue de aproximadamente 75.5%. Los valores más bajos y altos de DIVMS en la especie se encontraron en Los Ramones para *C. suaveolens* (56.5%) y *C. pallida* (88.5%) en septiembre y diciembre, respectivamente (Cuadro 16).

Cuadro 14. Contenido foliar mensual de proteína cruda (% , materia seca) en cinco especies de arbustivas del noreste de México colectados en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019.

Sitio	Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes	CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18	22.1	14.7	13.5	20.5	20.1	25.3	19.5	16.1	23.4	19.1	19.4	0.5
Ago	20.6	18.7	16.5	25.5	20.8	29.5	20.1	19.9	24.9	20.4	21.7	0.5
Sept	21.2	19.2	22.2	20.8	18.9	27.4	26.3	20.8	23.6	24.5	22.5	0.5
Oct	33.3	25.9	24.5	24.0	31.5	29.9	29.3	27.1	31.2	33.4	29.0	0.5
Nov	36.7	32.1	22.1	26.2	24.3	30.3	22.2	22.7	25.2	24.9	26.7	0.5
Dec	28.1	24.2	20.2	24.1	23.8	26.0	24.5	16.1	25.9	25.6	23.8	0.5
Ene-19	24.2	25.3	22.7	24.7	24.1	20.2	20.3	20.4	24.1	22.9	22.9	0.5
Feb	21.3	20.9	18.9	20.5	17.1	16.3	18.3	17.8	17.8	22.9	19.2	0.5
Mar	19.6	27.9	15.0	23.7	28.2	19.6	24.6	16.0	28.8	22.5	22.6	0.5
Abr	30.1	26.3	12.2	23.4	29.7	28.7	25.4	13.7	19.5	18.6	22.8	0.5
May	20.5	19.3	11.1	18.6	21.1	17.9	20.6	11.0	16.4	17.3	17.4	0.5
Jun	20.0	15.4	10.3	16.7	13.7	18.7	13.8	12.6	15.6	16.8	15.4	0.5
Media	24.8	22.5	17.4	22.4	22.8	24.1	22.1	17.9	23.0	22.4	21.9	
EEM	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		
Media	22.0					21.9						
EEM	0.2					0.2						
Factores	Mes (A)		Sitio (B)		Especies (C)		A x B	A x C		B x C		A x B x C
p	***		NS		***		***	***		NS		***

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiaacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

Data representa media (n=3). EEM, error estándar de la media.

*** Significativo a 0.001, NS; No significativo.

Cuadro 15. Contenido foliar mensual de carbohidratos no estructurales (% materia seca) en cinco especies de arbustivas del noreste de México colectados en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019.

Sitio		Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes		CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18		6.1	31.4	42.7	22.2	22.8	0.8	28.2	42.0	20.7	21.2	23.8	0.8
Ago		9.9	26.9	47.7	8.8	19.2	0.1	30.8	40.0	14.4	19.0	20.8	0.8
Sept		0.2	25.9	35.0	18.5	21.6	0.1	11.2	29.1	9.8	14.6	15.9	0.8
Oct		0.1	6.9	25.9	15.2	16.2	4.5	18.8	29.5	12.3	9.5	13.4	0.8
Nov		2.6	14.8	30.0	14.1	18.8	0.1	29.7	27.7	12.0	17.0	15.8	0.8
Dic		10.6	23.1	32.3	15.6	13.5	0.1	25.7	42.6	17.7	10.8	19.0	0.8
Ene-19		20.4	22.7	29.8	12.1	17.5	5.1	32.0	40.4	22.6	21.1	22.4	0.8
Feb		24.2	33.7	43.2	21.8	28.5	23.5	32.2	35.6	20.0	16.1	27.9	0.8
Mar		10.4	19.0	38.7	29.7	21.4	9.1	1.9	40.3	33.5	15.3	21.9	0.8
Abr		8.6	22.0	45.6	18.9	10.5	0.9	29.4	44.5	27.5	24.9	23.3	0.8
May		23.4	28.2	44.1	22.5	24.0	19.5	35.0	45.5	28.9	22.6	29.4	0.8
Jun		14.1	38.2	49.9	25.6	29.6	10.0	39.5	48.9	25.3	25.8	30.7	0.8
Media		10.5	24.4	38.8	18.7	20.3	3.9	26.2	38.8	20.4	18.2	22.4	
EEM		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7		
Media		22.5					21.5						
EEM		0.3					0.3						
Factores	Mes (A)	Sitio (B)		Especies (C)		A x B	A x C		B x C		A x B x C		
p	***	**		***		***	***		***		***		

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

Data representa media (n=3). EEM, error estándar de la media.

*** Significativo a 0.001, ** Significativo a 0.01.

Cuadro 16. Digestibilidad in vitro de la materia seca foliar mensual de cinco especies de arbustivas del noreste de México colectados en dos sitios de estudio de julio 2018 a junio 2019.

Sitio		Linares					Los Ramones					Media	EEM
Mes		CP	CS	FA	GA	PA	CP	CS	FA	GA	PA		
Jul-18		86.0	70.4	76.8	75.5	72.5	82.4	68.2	77.8	72.1	71.4	75.3	0.3
Ago		81.8	66.3	79.4	76.5	71.9	82.2	72.2	79.3	74.3	68.4	75.2	0.3
Sept		80.9	68.2	79.6	76.5	74.0	79.6	56.5	80.4	75.8	69.7	74.1	0.3
Oct		78.7	69.0	76.0	76.6	74.3	81.9	69.6	79.4	77.0	69.7	75.2	0.3
Nov		86.4	68.0	72.8	75.8	68.3	87.3	73.0	76.4	77.6	67.5	75.3	0.3
Dic		85.3	71.3	76.0	76.1	69.9	88.5	70.7	76.9	75.3	62.1	75.2	0.3
Ene-19		86.1	68.3	74.5	74.8	70.8	85.9	71.0	77.3	78.4	67.7	75.5	0.3
Feb		87.2	74.8	76.1	76.4	69.2	88.2	70.5	75.4	76.9	65.8	76.0	0.3
Mar		83.5	72.6	74.0	82.3	79.0	83.6	76.6	73.7	86.8	77.9	79.0	0.3
Abr		82.0	74.3	75.6	70.3	79.6	82.3	77.5	74.4	71.1	66.2	75.3	0.3
May		83.8	73.3	75.0	67.7	74.8	83.1	74.5	75.3	72.3	66.2	74.6	0.3
Jun		81.3	76.6	77.0	68.0	69.8	81.6	78.5	77.9	71.8	70.9	75.4	0.3
Media		83.6	71.1	76.1	74.7	72.8	83.9	71.6	77.0	75.8	68.6	75.5	
EEM		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		
Sitio		75.7					75.4						
EEM		0.1					0.1						
Factores	Mes (A)	Sitio (B)		Especies (C)		A x B	A x C		B x C		A x B x C		
p	***	NS		***		***	***		***		***		

CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiaecum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

Data representa media (n=3). EEM, error estándar de la media.

*** Significativo a 0.001, NS; No significativo.

12.6.- Discusión

12.6.1.- Composición química

Los arbustos de las regiones áridas y semiáridas pueden ser utilizados como recursos alimenticios por pequeños rumiantes (Guerrero *et al.*, 2008). De manera consistente, los hallazgos del presente estudio, sugieren que las especies de arbustivas evaluadas tienen un alto contenido de proteína cruda (PC) que se mantiene en niveles satisfactorios durante todo el año; esto contrasta con los contenidos de PC registrados en las gramíneas (Ramírez *et al.*, 2009). En el presente estudio, los valores generales de PC más altos se registraron en octubre y los mas bajos en febrero.

Esta observación contrasta con los resultados reportados por Ammar *et al.* (2004) para arbustos en el Mediterráneo, en cuyo caso, el contenido máximo de PC se registró al comienzo de la primavera, durante el crecimiento inicial de las hojas, probablemente debido a una alta actividad mitótica y una fuerte demanda de nutrientes, particularmente nitrógeno, mientras que a partir de entonces, el contenido de PC disminuyó durante la temporada de crecimiento en respuesta al envejecimiento de los tejidos, particularmente durante el otoño, cuando los nutrientes se transfieren a los tejidos perennes antes de la abscisión.

De manera consistente, Alvarado *et al.* (2012) observaron los valores más altos de PC en los meses de verano. Además, nuestros resultados indican que, independientemente del mes y el sitio, todas las especies estudiadas superan el nivel del 7% de PC recomendado para el crecimiento óptimo de microorganismos en el rumen (Yousef & Rouzbehan, 2008). Asimismo, el porcentaje de PC para *C. pallida*, *G. angustifolium* y *F. angustifolia* fue mayor a lo informado por Ramírez *et al.* (2000), Guerrero *et al.* (2008), y Domínguez *et al.* (2011).

Los componentes de la pared celular mostraron la misma tendencia que la PC. Así, los niveles más altos de hemicelulosa, celulosa y lignina se observaron durante los meses de verano, mientras que los más bajos se observaron durante los meses de primavera. Estos resultados concuerdan con los reportados por Ammar *et al.* (2004), quienes encontraron que el aumento de los componentes

de la pared celular estaba asociado con los procesos de madurez de las plantas. El contenido de celulosa difirió significativamente ($p < 0.001$) entre especies y meses. Además, el contenido medio global de celulosa (12.5%) fue menor que el contenido de hemicelulosa (media global = 20.8%). El contenido de celulosa estimado en este estudio para el tejido foliar de *C. pallida* y *G. angustifolium* fue menor al reportado por Ramírez *et al.* (2000). En general, todas las especies de arbustos evaluadas en el presente estudio mostraron menores contenidos de celulosa que los reportados por Okunade *et al.* (2014) para examinar especies de plantas en los pastizales de Nigeria.

El contenido de hemicelulosa también varió significativamente entre especies. Además, el contenido de hemicelulosa registrado para hojas de *C. pallida* fue mayor, mientras que para *G. angustifolium* fue menor, a lo reportado por Ramírez *et al.* (2000). Los resultados reportados aquí también fueron menores que los reportados por Derero y Kitaw (2018) para especies de ramoneo en el este de Etiopía, en cuyo caso, el contenido de hemicelulosa varió de 4.5 a 29.0% MS. La diferencia entre el contenido de hemicelulosa para todos los arbustos evaluados en el presente estudio a lo largo del año contrasta con lo reportado por Salem (2005), para las hojas de *Acacia* en las que no se encontraron diferencias significativas entre las temporadas de crecimiento.

El contenido de lignina se ha relacionado con la etapa de desarrollo de la planta (Raffrenato *et al.*, 2017). Por tanto, creemos que el menor porcentaje de lignina debería observarse en marzo, coincidiendo así con el crecimiento estacional. Un mayor contenido de lignina se asocia con una menor digestibilidad de la fibra para los rumiantes (Anele *et al.*, 2009). Estos autores informaron que un contenido de lignina entre 8.0 y 9.1% MS puede considerarse bajo a moderado en cuatro especies de árboles multipropósito de Nigeria. En este estudio, *C. pallida* y *F. angustifolia* mostraron niveles de similares a bajos de lignina (2.1 y 9.3% MS, respectivamente) que se pueden considerar menores y hasta similares a los valores de entre 8 y 12% MS de lignina en comparación con los observados por Alvarado *et al.* (2012).

En el caso de los carbohidratos no estructurales (CNE), los niveles más bajos se registraron en los meses de otoño. Este hallazgo podría ser consecuencia de una transferencia de nutrientes a la raíz para la supervivencia de la planta y la adaptación al clima frío durante los meses de invierno (Oppong *et al.*, 2008), seguida de un aumento durante los meses de primavera como se observó en *F. angustifolia* que mostró un alto contenido. El resto de las especies arbustivas presentaron menor contenido, particularmente *C. pallida*. Este hallazgo contrasta con un informe de Alvarado *et al.* (2012), quienes señalaron que las especies de arbustos del noreste de México son ricas en CNE.

12.6.2.- Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

Según Ammar *et al.* (2008), para estudios *in vitro*, cuando los animales son alimentados con la misma dieta, las diferencias entre el fluido del rumen de oveja y cabra usado como fuente de inóculo pueden considerarse de poca importancia nutricional. Los valores obtenidos mostraron una tendencia opuesta a la mostrada por el contenido de PC y las fracciones de fibra, registrándose los niveles más altos de digestibilidad para las muestras obtenidas durante los meses de primavera y los más bajos durante los meses de verano. Estas observaciones podrían explicarse por el proceso de desarrollo de la planta (Ammar *et al.*, 2008). Además, los contenidos de LDA ($r = -0.55$; $p < 0.001$) y celulosa ($r = -0.71$; $p < 0.001$) se correlacionaron negativamente con la DIVMS, ya que las especies *C. pallida* y *F. angustifolia* mostraron los valores más altos de DIVMS concomitantemente con niveles más bajos de LDA y celulosa. Por el contrario, *P. aculeata* se caracterizó por los niveles más altos de celulosa y los niveles más bajos de DIVMS.

No se detectó relación entre CNE y el grado de digestibilidad. Probablemente esto se deba a que la digestibilidad está relacionada con el contenido de la pared celular, que determina una menor digestibilidad con el aumento de la lignificación de la pared celular (Gámez *et al.*, 2018), como en *C. pallida*, *C. suaveolens*, *G. angustifolium* y *P. aculeata*. De acuerdo con nuestros hallazgos, aunque el CNE comprende azúcares simples y almidón, están asociados con las principales

fuentes de energía para los microorganismos del rumen, esta fracción podría ser fermentada por bacterias ruminales (Sniffen *et al.*, 1992), que pueden utilizar mejor los niveles de PC se encuentran en las hojas de *F. angustifolia* y, por lo tanto, sugieren parcialmente el segundo mayor DIVMS observado en este estudio. La comparación de nuestros resultados con los reportados para otras especies forrajeras debe considerarse con cautela, ya que las diferencias en la digestibilidad de las especies pueden deberse a variaciones en la composición química.

Se sabe que muchas especies de arbustos contienen altos niveles de taninos. Los taninos condensados (TC), que son compuestos secundarios de las plantas (CSP) de la familia de los polifenoles, podrían mejorar la eficiencia de la fermentación ruminal en concentraciones menores a 4% MS (Belachew *et al.*, 2013). Sin embargo, altas concentraciones de TC (7.5% a 15.2% MS) pueden reducir el valor nutricional de los componentes dietéticos y la digestibilidad de las proteínas y los componentes de la pared celular de los arbustos del noreste de México (Ramírez *et al.*, 2000). Se ha reportado que una mayor presión de ramoneo en los pastizales podría resultar en hojas con mayor contenido de TC (Mnisi y Mlambo, 2017). Esta situación no ocurrió en el presente estudio ya que las parcelas analizadas se mantuvieron sin alteraciones, aunque durante el período de estudio pudo aparecer la presencia ocasional de cabras, ovejas y venado cola blanca de agostaderos vecinos. La presencia de CSP como TC puede explicar por qué algunas especies excedieron el requisito mínimo de PC, a pesar de tener menor digestibilidad (Camacho *et al.*, 2010). En el presente estudio, *F. angustifolia* mostró el menor contenido de PC y los niveles más bajos de celulosa, concomitantemente mostró mayor DIVMS que cualquier otra especie, excepto *C. pallida*. Domínguez-Gómez *et al.* (2011) reportaron niveles aceptables de energía metabolizable que oscilan entre 6 y 9 MJ/kg para esta especie arbustiva. Por lo tanto, parece más que conveniente que la concentración de estos compuestos se determine antes de cualquier prueba adicional en su uso en la dieta animal. Sin embargo, estas especies pueden ser insuficientes como única fuente de alimento para otras clases de ganado, y los requisitos de

proteínas pueden variar según la edad y la condición reproductiva de los animales (O’Keeffe *et al.*, 2015). *Celtis pallida* mostró la mayor tasa de DIVMS de todas las especies en estudio (78.7% - 88.5% MS) y el mayor contenido de PC (16.3% - 36.7% MS). Según Ramirez *et al.* (2016), las hojas de *C. pallida* pueden tener potencial como alimento complementario económico para dietas de pequeños rumiantes basadas en forrajes de baja calidad, en comparación con los que contienen heno de *Medicago sativa*, una leguminosa de alta calidad nutricional. Debido a la falta de información sobre el uso del método Daisy^{II} en muestras de tejido foliar similar a las especies del presente estudio, los valores aquí reportados podrían estar algo sobreestimados y no se pudo realizar una comparación de los valores obtenidos, con los reportados por otros grupos de investigadores, ya que el método Daisy^{II} requiere estandarización según el forraje a analizar. Estudios anteriores informan que el uso de muestras de 0.25 g puede resultar en valores de digestibilidad más altos que si se utilizan muestras de 0.50 g (Damiran *et al.*, 2008). De manera similar, los valores de DIVMS para alimentos con alto contenido de PC son significativamente más altos cuando se analizan con la incubadora Daisy^{II} que los obtenidos por el método tradicional de Tilley y Terry (Mabjeesh *et al.*, 2000). Además, el uso de bolsas F57 ANKOM con un tamaño de poro de 25 µm podría permitir el escape de fracciones de fibra digeribles y no digeribles como argumentan Tassone *et al.* (2020). Por lo tanto, la comparación con bolsas de poros más finos (por ejemplo, bolsas ANKOM F58 de 10 µm de poro) podría presentarse como una oportunidad de estudio para la estandarización del incubador Daisy^{II} para su uso en la determinación la digestibilidad de hojas de plantas arbustivas para pastizales semiáridos y áridos. El uso de muestras de 0.25 g y el alto contenido de PC en las muestras foliares analizadas en este estudio podrían ser las razones de los altos valores de digestibilidad observados. Un estudio anterior mostró que el potencial nutricional de las especies de arbustos australianos no leguminosos puede sobrestimarse y conducir a una baja productividad animal, ya que los valores de digestibilidad de materia orgánica *in vitro* (DMO) eran entre un 6% y un 20% más altos que los valores de DMO *in vivo* (Norman *et al.*, 2010). Estas diferencias se atribuyeron al

alto contenido de sal y otros factores anti-nutricionales que cambian la composición de las comunidades microbianas del rumen.

No se han reportado altos contenidos de sal para arbustos del noreste de México (Domínguez *et al.*, 2014). Sin embargo, Trujillo *et al.* (2010) demostraron que el método Daisy^{II} subestimó los valores de desaparición de MS y de la fibra detergente neutra, en comparación con los métodos *in situ*. Los valores de DIVMS del presente estudio fueron superiores a los reportados por Avoroyo *et al.* (2019) en Ghana, y similares a los reportados para Olafadehan y Okunade (2018) en Nigeria. Ambos estudios evaluaron el valor nutricional de árboles y arbustos consumidos por cabras. Estudios *in vitro* previos para la evaluación de la digestibilidad realizados en hojas de árboles forrajeros en el norte de Pakistán con métodos diferentes al del incubador Daisy^{II}, reportaron valores de digestibilidad superiores al 50% (Habib *et al.*, 2016); sin embargo, estos fueron aún más bajos que los valores aquí reportados. Revell *et al.* (2013) informaron que la DMO *in vitro* osciló entre el 36% y el 69% para los arbustos perennes en Australia. Los valores de DIVMS obtenidos en los arbustos del presente estudio (56.4% a 88.4%) indican nutrientes fácilmente disponibles para los rumiantes. Por lo tanto, los estudios futuros deben tener como objetivo determinar la aceptabilidad de estos recursos alimenticios por parte de los rumiantes (Derero y Kitaw, 2018).

A pesar de las ventajas para la determinación de la digestibilidad *in vitro*, el uso del líquido ruminal de ovejas como inóculo para el incubador Daisy^{II} requiere una consideración exhaustiva de los efectos secundarios negativos de la amplia gama de factores anti-nutricionales que enfrentan los rumiantes al consumir estos arbustos, para igualar los resultados reales obtenidos a partir de métodos *in vivo* de determinación de la digestibilidad. Además, las diferencias entre cabras y otros rumiantes como donantes de inóculo no fueron significativas (Ammar *et al.*, 2008). Sin embargo, manejar a los rumiantes domésticos para que consuman una mayor porción de material arbustivo en sus dietas requiere una suplementación adecuada para mantener niveles satisfactorios de productividad (Perryman *et al.*, 2011).

13.- CAPÍTULO III: VALOR NUTRITIVO ESTACIONAL Y CINÉTICA DE LA FERMENTACIÓN *IN VITRO* DEL FOLLAJE DE ALGUNAS ESPECIES DE ARBUSTOS MULTIPROPÓSITO EN EL NORESTE DE MÉXICO

CHAPTER III: SEASONAL NUTRITIVE VALUE AND *IN VITRO* FERMENTATION KINETICS OF FOLIAGE OF SOME MULTIPURPOSE SHRUB SPECIES IN NORTHEASTERN MEXICO

13.1.- Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar la composición química, contenido de energía metabolizable (EM), digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) y la digestibilidad verdadera *in vitro* de la materia orgánica (DVIVMO) estacional del follaje de cinco especies de arbustos nativos (*Celtis pallida*, *Croton suaveolens*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiacum angustifolium* y *Parkinsonia aculeata*) que crecen en las zonas semi-áridas del noreste de México. El estudio se llevó a cabo de julio 2018 a junio 2019 en dos sitios de muestreo. Los componentes químicos se determinaron mediante análisis gravimétrico; la DVIVMO se evaluó usando un incubador Daisy^{II}. El contenido de EM, parámetros de fermentación ruminal y DIVMO fueron estimados utilizando jeringas de vidrio. Los valores más altos de fibra detergente neutra fueron registrados en el sitio Los Ramones (42.4% Materia seca), otoño (46.0%) y en *P. aculeata* (48.1%), y los menores valores se registraron en invierno (39.7%) y *C. pallida* (32.0%) en el sitio Linares. Los contenidos de fibra detergente acida, lignina, proteína cruda, extracto etéreo (EE), así como los valores de producción de gas a 24 h, EM, parámetros fermentativos y degradación efectiva, fueron similares entre ambos sitios ($p>0.05$), aunque se encontraron valores mayores en primavera, excepto para EE y la fracción inmediatamente soluble de la producción gas. Se registró una interacción significativa estación*especies para la DIVMO ($p<0.001$), con los

niveles más altos para *C. pallida* (58.8%) y primavera (49.3%). La especie *C. pallida* (88.7%) mostró los niveles más altos de DVIVMO. En conclusión, las especies de plantas arbustivas evaluadas, especialmente *C. pallida*, representan una importante fuente de forraje por sus niveles de proteína y sus parámetros fermentativos para pequeños rumiantes en la región semiárida del noreste de México.

Palabras clave: Composición química, Digestibilidad, Producción de gas, Ramoneo, Rumiantes, Estación.

13.2.- Abstract

The aim of present study was to determine the seasonal chemical composition, metabolizable energy (ME) content, *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD) and *in vitro* true organic matter digestibility (IVTOMD) of foliage from five native shrub species (*Celtis pallida*, *Croton suaveolens*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiacum angustifolium* and *Parkinsonia aculeata*) grown in the semi-arid areas of northeastern Mexico from July 2018 to June 2019 at two research sites. Chemical components were determined by gravimetric analysis; IVTOMD was assessed using the Daisy^{II} incubator. ME content, rumen fermentation parameters and IVOMD were estimated using glass syringes. Higher neutral detergent fiber fraction was registered at Los Ramones site (42.4% dry matter), in autumn (46.0%), and in *P. aculeata* (48.1%), whereas lower values were registered in winter (39.7%) and *C. pallida* (32.0%) at Linares site. Contents of acid detergent fiber, lignin, crude protein, ether extract (EE), as well as values of gas production at 24 h, ME, fermentative parameters, and effective degradation, were similar between sites ($p>0.05$), however, spring values were higher, except for EE and the gas production from the immediately soluble fraction. A significant interaction season*species was found for IVOMD ($p<0.001$), with highest levels being found for *C. pallida* (58.8%) and in the spring season (49.3%). The species *C. pallida* (88.7%) showed the highest levels of IVTOMD. In conclusion, the evaluated shrub species, especially *C. pallida*, represent important fodder

sources due to its crude protein contents and fermentative parameters for small ruminants in the semi-arid region of northeastern Mexico.

Key words: Chemical composition, Digestibility, Gas production, Browse, Ruminants, Season.

13.3.- Introducción

Las especies arbustivas tienen un papel importante como fuente de alimentación para pequeños rumiantes en agostaderos de regiones áridas y semiáridas (Alvarado *et al.*, 2012; Habib *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2018), dada la eventual mala calidad estacional de los pastizales se puede compensar a través del ramoneo de hojas verdes de las arbustivas, que pueden ser utilizados como suplemento proteico y energético por pequeños rumiantes en pastoreo extensivo, como las regiones semiáridas del norte de México (Guerrero-Cervantes *et al.*, 2008). Las hojas de algunos arbustos y árboles forrajeros también tienen el potencial de reducir la producción de metano y contribuir a la mitigación del metano en los sistemas de producción de pequeños rumiantes en los países en desarrollo (Pal *et al.*, 2015; Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2017). Sin embargo, dado que las hojas de árboles y arbustos de leguminosas contienen una amplia diversidad de compuestos secundarios de plantas (CSP), que pueden representar un desafío para su consumo como fuente de alimentación (Ramírez *et al.*, 2000), y el uso de la energía metabolizable y la proteína (Camacho *et al.*, 2010). Soliva *et al.* (2008) reportaron que estos componentes no afectaron excesivamente la degradación proteica del follaje tropical de arbustos y árboles.

Dado que el análisis de la composición química no refleja el efecto de estos CSP, es importante elegir métodos de análisis adicionales para evaluar la calidad nutricional de los arbustos nativos en los agostaderos. La producción de gas *in vitro* medida mediante transductores de presión y jeringas de gas (Getachew *et al.*, 2005), se pueden utilizar para clasificar la calidad nutricional en arbustos y árboles forrajeros (Larbi *et al.*, 1998), y son sensibles a la presencia de CSP en el tejido del follaje (Sebata *et al.*, 2011), ya que compuestos como los taninos

condensados (TC) en las especies consumidas por ramoneo podrían limitar la fermentación *in vitro* (Guerrero *et al.*, 2012). El incubador Daisy^{II} es adaptable y eficiente para determinar la digestibilidad del forraje (Holden, 1999), que son confiables cuando se comparan con pruebas *in sacco*, pero con una cantidad mínima de rumiantes necesarios como donantes de líquido ruminal (Buthelezi *et al.*, 2019).

Las especies de arbustos nativos que crecen en el ecosistema vegetal del Matorral Espinoso Tamaulipeco en el noreste de México, han sido estudiadas para determinar su potencial como fuente de minerales, proteínas y forraje para pequeños rumiantes (Domínguez-Gómez *et al.*, 2011; Guerrero-Cervantes *et al.*, 2012; Chávez-Espinoza *et al.*, 2020). Sin embargo, hasta ahora hay información limitada sobre la cinética de la fermentación ruminal, así como el contenido de energía metabolizable a lo largo del año. El objetivo de este estudio fue determinar y comparar la composición química estacional, la energía metabolizable (EM), los parámetros de fermentación *in vitro*, la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) y la digestibilidad *in vitro* verdadera de la materia orgánica (DIVVMO) y el potencial nutricional del tejido foliar de las especies arbustivas nativas *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae), *Croton suaveolens* Torr. (Euphorbiaceae), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae), *Guaiacum angustifolium* Engelm. (Zygophyllaceae) y *Parkinsonia aculeata* L. (Fabaceae) para pequeños rumiantes en el noreste de México.

13.4.- Materiales y métodos

13.4.1.- Sitios de estudio

La investigación se llevó a cabo en dos sitios ubicados en el estado de Nuevo León, México, en los municipios de Linares y Los Ramones, que se describen brevemente a continuación:

Sitio 1, Linares: Ubicado en el campus experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en el municipio de

Linares (24° 47' 45'' N; 99° 32' 31'' O; 350 m sobre el nivel del mar). El clima es semiárido y subtropical con un verano cálido (González-Rodríguez *et al.*, 2004). La temperatura promedio del aire registrada durante el período experimental fue de 14.1 °C en enero a 30.4 °C en agosto y registró 554 mm de precipitación durante el período de estudio.

Sitio 2, Los Ramones: Ubicado en "Rancho El Abuelo" en el municipio de Los Ramones. La ubicación geográfica es 25° 39' 46'' N; 99° 27' 51'' O; con una superficie de 100 ha y una elevación de 200 m sobre el nivel del mar. El clima es semiárido con verano cálido (González-Rodríguez *et al.*, 2004). La temperatura media mensual del aire durante el estudio osciló entre 14.3 °C en enero y 31.5 °C en agosto. La precipitación registrada fue de 667 mm durante el período experimental.

13.4.2.- Muestreo y preparación de follaje

En cada sitio, se establecieron aleatoriamente, sin alteraciones, tres parcelas experimentales representativas (50 m x 50 m), en las que se recolectaron aleatoria y manualmente hojas jóvenes y maduras de *Celtis pallida*, *Croton suaveolens*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiaacum angustifolium* y *Parkinsonia aculeata*, a una altura de ramoneo de 1.5 m de cinco individuos representativos (repeticiones). Se tomaron muestras de hojas mensualmente en verano (junio de 2018, agosto de 2018 y julio de 2019), otoño (de octubre de 2018 a noviembre de 2018), invierno (de diciembre de 2018 a febrero de 2019) y primavera (de marzo de 2019 a mayo de 2019). El tejido foliar recolectado fue trasladado al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Forestales, donde las muestras se secaron parcialmente a 55 °C durante 24 h utilizando una estufa de aire forzado (Felisa®, Modelo FE-292AD, México). Después, el tejido de la hoja se trituró en un molino Thomas Willey (Thomas Scientific Apparatus, Modelo 3383, USA) Utilizando una malla No. 60 (1 mm x 1 mm) y se almacenó en bolsas de plástico tipo zip lock.

13.4.3.- Análisis químicos

El tejido de foliar muestreado durante el período de estudio se analizó por triplicado para determinar el contenido de materia seca (MS, %) pesando 1.0 g de muestra molida, que se secó a 100 °C durante 24 h en una estufa de aire forzado (Felisa®, Modelo FE -292AD, México). El contenido de materia orgánica (MO, %) se determinó incinerando la muestra a 550 ° C durante 3.5 h utilizando un horno (Thermo Scientific, Modelo F48010, USA) (No 942.05, AOAC 2012). El porcentaje de proteína cruda (PC, %) se determinó multiplicando por un factor de 6.25 el contenido de N (%), que se obtuvo mediante un analizador CHNS/O (2400 serie II, Perkin Elmer) (n. 990.03, AOAC 2012). La fibra detergente neutra (FDN, %), la fibra detergente ácido (FDA, %) y la lignina (%) se determinaron de acuerdo con los procedimientos descritos por Van Soest *et al.* (1991). El extracto etéreo (EE, %) se midió extrayendo los lípidos con éter de petróleo, utilizando el extractor Ankom^{XT15} (AOCS AM 5-04).

13.4.4.- Determinación de la producción de gas *in vitro*

La producción de gas *in vitro* del tejido foliar recolectado se determinó en la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, México, utilizando la técnica propuesta por Menke y Steingass (1988). Brevemente, por triplicado, se colocó una muestra de 500 mg (MS) en jeringas de vidrio calibradas de 100 ml. Posteriormente, se recolectó líquido ruminal de tres borregos machos raza Dorper castrados y fistulados en el rumen (45 kg de peso corporal), alimentados con heno de alfalfa y concentrado comercial (75:25). Para preparar el inóculo, se mezcló líquido ruminal con una solución buffer de sodio y bicarbonato de amonio (35 g de NaHCO₃ y 4 g de NH₄HCO₃ por litro de solución) en una proporción de 1:2 (v/v). Cada jeringa se inoculó con 40 ml de esta solución buffer y se colocó en posición vertical en un baño de agua a 39 °C. Además, se colocaron tres jeringas que contenían sólo 40 ml de inóculo como blancos. La producción de gas se registró a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 h después de la inoculación y los datos obtenidos se ajustaron a la ecuación no lineal propuesta por Orskov y McDonald (1979):

$$p = a + b (1 - e^{-ct}).$$

Donde, p es el gas producido en el tiempo ' t ', a es la producción de gas a partir de la fracción inmediatamente soluble (ml), b es la producción de gas a partir de la fracción insoluble (ml), c es la tasa de producción de gas constante para la fracción insoluble (b) y t el tiempo de incubación (h). La degradabilidad efectiva de la materia seca (DEMS) se calculó usando la ecuación; $(a+b) c/(c+k) (e^{-(ct)LT})$, donde " k " es la tasa de salida del rumen que se supone que es 0.05/h y LT el tiempo de retraso (McDonald, 1981).

Dado que la producción *in vitro* de producción de gas es proporcional a la materia seca (MS) degradada (Menke *et al.*, 1979), se utilizó el rendimiento neto de gas a las 24 h de incubación del sustrato (ml/200 + 10 mg de MS) para calcular la energía metabolizable (EM) y la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO, %), utilizando las ecuaciones propuestas por Menke y Steingass (1988):

$$\text{DIVMO (\%)} = 14.88 + 0.889 \times \text{PG}_{24\text{h}} + 0.45 \times \text{PC} + 0.0651 \times \text{Cen}$$

Donde, $\text{PG}_{24\text{h}}$ = producción de gas neta a 24 h (ml/200 mg); PC=proteína cruda (%) y Cen= cenizas (%).

13.4.5.- Digestibilidad *in vitro* verdadera de la materia orgánica

La DIVVMO de muestras foliares se determinó utilizando un incubador Daisy^{II} (ANKOM Technology, Macedon, NY, USA), en el Laboratorio de Nutrición Animal y Calidad de Alimentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Aproximadamente 250 mg de MS, por triplicado, se colocaron en bolsas de filtro de poliéster multicapa (F57; 5.0 cm x 5.5 cm, ANKOM Technology Corp., Macedon, NY) previamente lavadas con acetona y secadas en una estufa de aire forzado a 60 °C por dos horas. Se preparó un inóculo diluyendo líquido ruminal obtenido de 2 borregos machos de raza Saint

Croix, castrados y provistos de una cánula ruminal, que fueron alimentados con forraje concentrado relación: 80%:20% (esta relación no contenía material de tejido foliar de las especies estudiadas) y una solución buffer en una proporción de 1:4. El inóculo se incorporó a los frascos, que se purgaron con CO₂. Después de un período de incubación de 48 h a 39 °C, los frascos se retiraron de la cámara de incubación y las bolsas se lavaron con agua destilada. Posteriormente, las bolsas se colocaron en el analizador de fibra Ankom²⁰⁰ (ANKOM Technology Corp., Macedon, NY) y se trataron con una solución detergente neutro durante 75 min, de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Las bolsas se enjuagaron con agua caliente y acetona, luego se secaron a 55 ° C durante 24 h. La DIVVMO se calculó como la diferencia entre la MO incubada y el residuo después del tratamiento con NDF.

13.4.6.- Estimación de energía metabolizable (EM)

El contenido de EM del follaje de cada especie arbustiva se estimó utilizando la ecuación propuesta por Menke *et al.* (1979):

$$EM \text{ (Mcal / kg MS)} = [2.20 + 0.136 (PG_{24h}) + 0.057 (PC) + 0.0029 (EE^2)]/4.184.$$

Donde, PG_{24h} = producción de gas después de 24 h de incubación (ml de gas/200 mg de MS); PC = proteína cruda (%; MS); y EE = extracto etéreo (%; MS).

13.4.7.- Variables ambientales

Para medir la influencia de la temperatura y la precipitación en cada sitio, se colocaron sensores HOBO automatizados (HOBO Pro Temp / RH Series, Forestry Suppliers, Inc., Jackson, MS, USA) para registrar las variables ambientales tales como la humedad relativa (%) y la temperatura del aire (° C) cada hora. La cantidad diaria de lluvia (mm) se cuantificó utilizando un pluviómetro automático de la marca Davis, conectado a un registrador HOBO Event Onset.

13.4.8.- Análisis estadísticos

La importancia de los sitios (2), estaciones (4) y especies, así como sus interacciones dobles (sitio*estación, sitio*especies y estación*especies) y triples (sitio*estación*especies) de los análisis químicos, parámetros de producción gas *in vitro* y los datos de digestibilidad se sometieron a análisis de varianza utilizando un diseño completamente al azar con arreglo factorial (Montgomery, 2004). Se realizaron análisis de correlación de Pearson entre la composición química, digestibilidades y variables ambientales registradas durante el período experimental. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el paquete de software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences por sus siglas en inglés) (Versión 22.0 para Windows, SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

13.5.- Resultados

El efecto de las estaciones, los sitios y las especies, y sus respectivas interacciones dobles y triples sobre MO, FDN, FDA, Lignina, PC y EE se muestran en la Cuadro 17. Los contenidos de MO, FDN, FDA, Lignina, PC y EE fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) entre estaciones y especies ($p < 0.001$). La interacción sitio*estación fue significativa ($p < 0.05$) solo para el contenido de Lignina y PC. La interacción estación*especie fue significativa ($p < 0.001$) para todos los componentes químicos evaluados, mientras que la interacción sitio*especie fue significativa ($p < 0.001$) para el contenido de MO, FDN, FDA y EE.

Con respecto a la triple interacción, estación*sitio*especies, se encontraron diferencias significativas para el contenido de MO ($p < 0.001$) y FDN ($p < 0.05$). Las muestras de follaje del sitio Los Ramones (88.7%) mostraron mayor contenido de MO que el sitio Linares (87.7%). *Celtis pallida* mostró el menor (76.7%), mientras que *P. aculeata* presentó el mayor (93.6%) contenido de MO. El mayor contenido de MO se registró en primavera (90.2%), mientras que las muestras de follaje de invierno (86.9%) tuvieron el menor contenido de MO.

Cuadro 17. Composición química (% MS) de hojas de cinco especies de arbustos recolectadas en dos sitios de muestreo en cada época del año de 2018 a 2019 en el noreste de México.

Estación	Sitio	Especie	MO ^a	FDN	FDA	LIG	PC	EE
Verano	Linares	CP	80.2	46.5	11.0	2.3	20.9	2.7
		CS	93.0	41.5	23.5	5.8	16.3	3.1
		FA	92.2	29.8	15.8	7.6	13.4	2.2
		GA	83.0	39.6	26.0	14.3	20.9	3.6
		PA	90.4	45.3	27.4	9.6	18.2	3.0
		Media de sitio	87.8	40.5	20.8	7.9	18.0	2.9
		EEM	0.3	0.8	0.4	0.3	0.6	0.1
	Los Ramones	CP	79.4	51.3	12.2	2.7	24.5	3.0
		CS	91.8	38.9	22.3	5.5	17.8	2.3
		FA	93.3	31.3	16.1	8.6	16.2	2.1
		GA	86.3	39.3	25.4	15.2	21.3	5.6
		PA	92.4	48.9	30.1	9.5	18.8	2.7
		Media de sitio	88.6	41.9	21.2	8.3	19.7	3.1
		EEM	0.3	0.8	0.4	0.3	0.6	0.1
Media de la estación			88.2	41.2	21.0	8.1	18.8	3.0
EEM			0.2	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1
Otoño	Linares	CP	79.1	44.4	11.7	2.4	29.3	2.3
		CS	91.7	48.0	24.6	7.3	25.7	1.4
		FA	93.3	37.5	17.7	8.6	22.9	2.5
		GA	81.0	36.6	24.7	14.7	23.7	4.8
		PA	90.4	44.3	25.5	9.1	24.9	2.4
		Media de sitio	87.1	42.1	20.9	8.4	25.3	2.7
		EEM	0.3	0.8	0.4	0.3	0.6	0.1
	Los Ramones	CP	79.0	50.8	10.7	2.2	29.2	2.8
		CS	91.7	40.9	26.3	9.2	25.9	1.4
		FA	93.2	38.9	18.3	10.1	23.5	2.0
		GA	85.2	41.1	24.6	14.1	26.7	6.0
		PA	92.8	49.6	29.0	10.7	27.6	1.9
		Media de sitio	88.4	44.3	21.8	9.2	26.6	2.8
		EEM	0.3	0.8	0.4	0.3	0.6	0.1
Media de la estación			87.7	43.2	21.3	8.8	26.0	2.8
EEM			0.2	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1

Cuadro 17. Continuación

Estación	Sitio	Especie	MO ^a	FDN	FDA	LIG	PC	EE
Invierno	Linares	CP	76.7	32.0	9.9	2.2	24.5	1.8
		CS	91.8	40.4	22.8	8.7	23.4	1.6
		FA	92.2	34.7	17.9	9.2	20.6	1.8
		GA	82.5	37.9	24.1	13.8	23.1	5.0
		PA	91.3	47.5	28.3	10.2	21.7	2.3
		Media de sitio	86.9	38.5	20.6	8.8	22.7	2.5
		EEM	0.3	0.8	0.4	0.3	0.6	0.1
	Los Ramones	CP	78.7	47.0	10.2	1.9	20.8	1.9
		CS	92.3	39.6	22.1	7.4	21.0	1.7
		FA	91.5	32.1	16.3	7.9	18.1	1.9
		GA	82.4	34.6	21.6	12.7	22.6	5.1
		PA	93.6	51.5	33.0	11.7	23.8	2.4
		Media de sitio	87.7	40.9	20.6	8.3	21.3	2.6
		EEM	0.3	0.8	0.4	0.3	0.6	0.1
Media de la estación		87.3	39.7	20.6	8.6	22.0	2.5	
EEM		0.2	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1	
Primavera	Linares	CP	78.2	38.5	9.8	2.0	23.4	2.2
		CS	91.9	41.6	21.9	5.5	24.5	2.7
		FA	93.9	36.2	20.3	12.0	12.8	2.0
		GA	89.1	40.8	26.7	14.1	21.9	2.7
		PA	94.0	46.2	24.3	7.4	26.3	2.8
		Media de sitio	89.4	40.7	20.6	8.2	21.8	2.5
		EEM	0.3	0.8	0.4	0.3	0.6	0.1
	Los Ramones	CP	81.1	46.8	10.4	1.6	22.1	2.0
		CS	92.0	43.9	18.2	4.5	23.6	2.5
		FA	93.7	34.6	19.3	11.3	13.6	2.1
		GA	89.9	35.3	23.0	12.5	21.6	3.1
		PA	94.4	51.7	29.1	8.5	19.5	2.3
		Media de sitio	90.2	42.5	20.0	7.7	20.0	2.4
		EEM	0.3	0.8	0.4	0.3	0.6	0.1
Media de la estación		89.8	41.6	20.3	7.9	20.9	2.4	
EEM		0.2	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1	

Cuadro 17. Continuación

Fuente de variación/ Valor-p	Estación	<.001	<.001	.047	.002	<.001	<.001
	Sitio	<.001	.001	.453	.763	.955	.384
	Especies	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
	Estación * Sitio	.754	.922	.238	.020	.006	.657
	Estación * Especies	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
	Sitio * Especies	<.001	<.001	<.001	.057	.891	<.001
	Estación * Sitio * Especies	<.001	.009	.176	.143	.120	.069

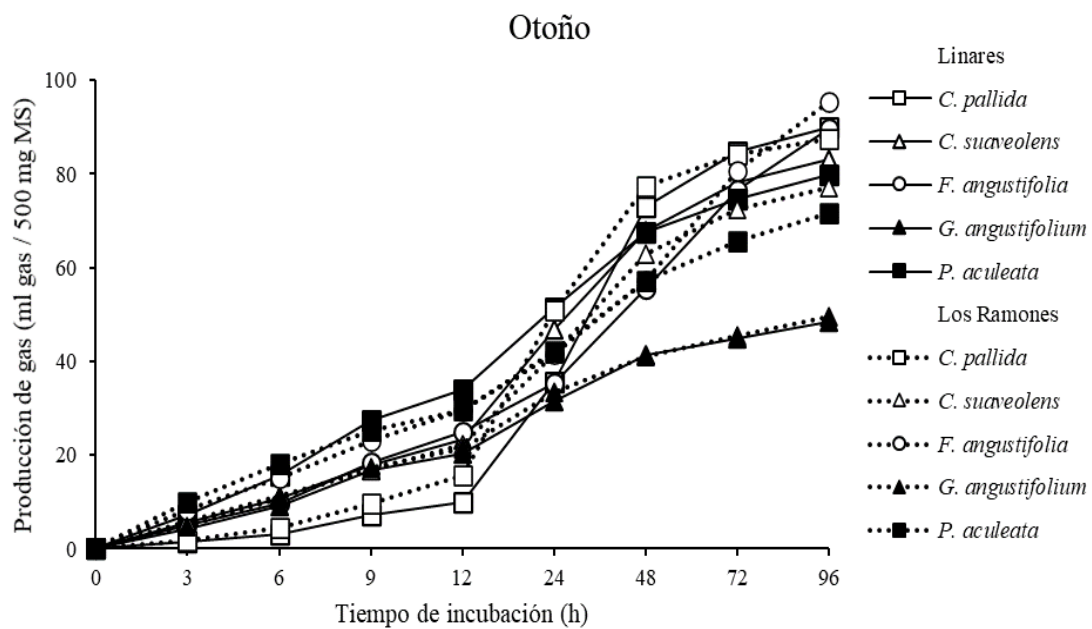
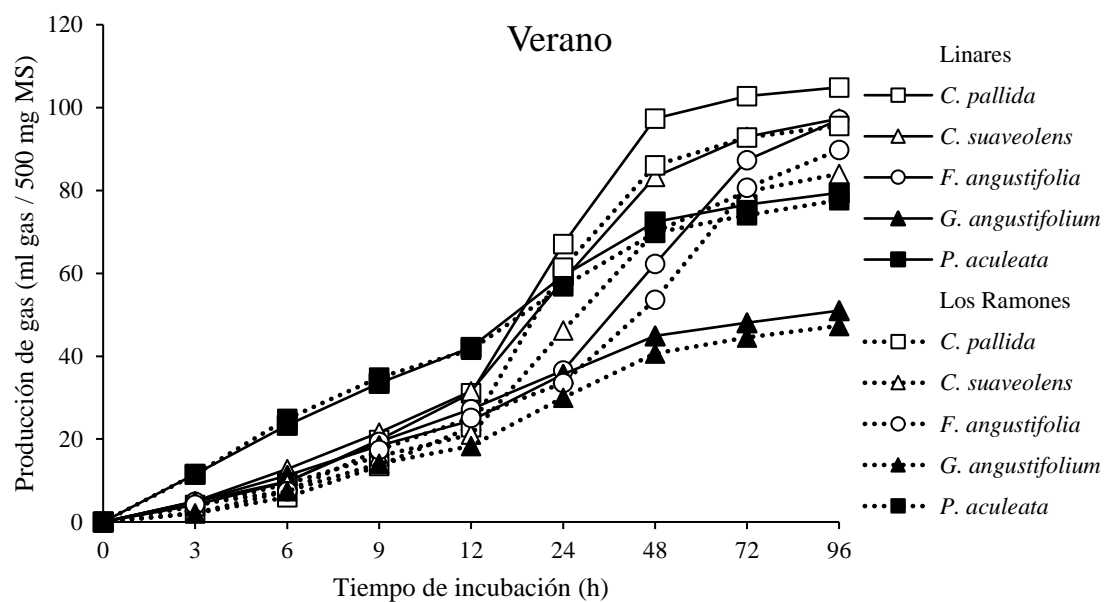
^a MO: materia orgánica, FDN: fibra detergente neutra, FDA: fibra detergente ácido, LIG: lignina, PC: proteína cruda, EE: extracto etéreo. Los datos representan la media (n = 9). EEM, error estándar de la media. CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiaacum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

Con respecto al FDN, los valores máximos (42.4%) y mínimos (40.45%) se encontraron en el sitio Los Ramones y Linares, respectivamente. Las muestras de follaje de otoño e invierno mostraron contenidos de FDN más altos (43.2%) y más bajos (38.5%), respectivamente. La especie *P. aculeata* presentó el mayor contenido (51.7%) y *F. angustifolia* el menor (29.8%) de FDN. En promedio, los contenidos de FDA, lignina, PC y EE fueron similares entre sitios con valores de 20.8, 8.3, 21.9 y 2.7%, respectivamente. El contenido de FDA fue mayor en *P. aculeata* (33.0%) mientras que *C. pallida* (9.8%) mostró los niveles más bajos de FDA. Las muestras de otoño y primavera mostraron los valores de FDA más altos (21.3%) y más bajos (20.3%). Con respecto al contenido de lignina, *G. angustifolium* mostró los niveles más altos (15.2%), mientras que *C. pallida* presentó los niveles más bajos de lignina (1.6%). En otoño y primavera se registraron los niveles de lignina más altos (8.8%) y más bajos (7.9%). Los mayores (29.3%) y los menores (13.4%) contenidos de PC se observaron en *C. pallida* y *F. angustifolia*, respectivamente. El mayor contenido de PC se registró en otoño (26.0%) y el menor en verano (18.8%). En cuanto a los contenidos de EE, los valores más altos se observaron en verano (3.0%) y en *G. angustifolium* (6.0%), mientras que primavera (2.4%) y *C. suaveolens* (1.4%) mostraron los valores más bajos (Cuadro 17).

En la Figura 3 se muestran los patrones de producción acumulada de gas *in vitro* (PG₉₆) de las cinco especies de arbustos nativos evaluadas durante el verano, otoño, invierno y primavera en los dos sitios de estudio. En general, las muestras de primavera mostraron valores de PG₉₆ más altos que el resto de las temporadas. La especie *C. pallida* registró los valores más altos de producción de gas y *G. angustifolium* los más bajos. Los parámetros de PG₂₄, ME y fermentativos: fracción *a*, fracción *b*, fracción *c*, fracción *a+b*, degradación efectiva, así como la digestibilidad de la materia orgánica *in vitro* y la digestibilidad verdadera de la materia orgánica *in vitro* fueron similares entre sitios ($p>0.05$), pero se registraron diferencias altamente significativas ($p<0.001$) entre estaciones y especies arbustivas.

La interacción estación*especie fue significativa ($p<0.001$) para PG₂₄, EM, los parámetros fermentativos generales, DEMS, DIVMO y DIVVMO (Cuadro 18). De manera similar, la interacción sitio*estación fue significativa ($p<0.05$) para PG₂₄, los parámetros fermentativos generales (*a*, *b* y *c*) y la DEMS. La interacción sitio*especie fue significativa ($p<0.001$) para la fracción fermentada inmediatamente (*a*) y la DIVVMO. En cambio, la interacción estación*sitio*especie no afectó ($p>0.05$) ninguna variable estudiada y parámetro fermentativo (Cuadro 18).

Se observó mayor PG₂₄ en *C. pallida* y en la temporada de primavera (36.8 y 27.4 ml/200 mg MS, respectivamente). Los valores más bajos de PG₂₄ se registraron para *G. angustifolium* y en la estación de invierno (12.0 y 16.4 ml/200 mg MS, respectivamente). La EM fue máxima en *C. pallida* y en la estación de primavera (2.0 y 1.7 Mcal/kg MS, respectivamente) mientras que *F. angustifolia* y *G. angustifolium* en verano y otoño (1.2 y 1.4 Mcal/kg MS, respectivamente) mostraron los mínimos niveles.



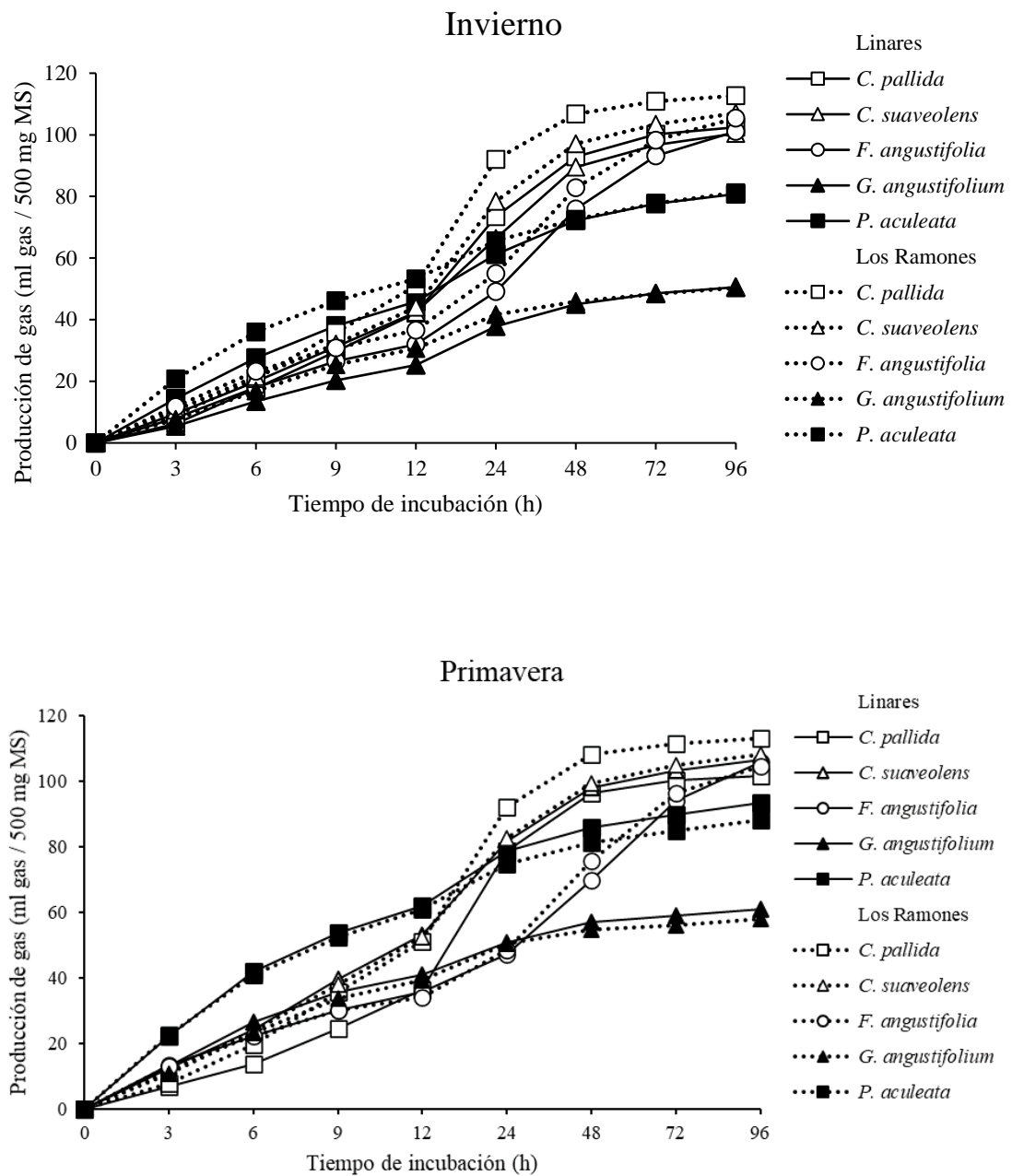


Figura 3. Producción de gas *in vitro* a 96 h de hojas de cinco especies de arbustos nativos recolectadas durante las temporadas de verano, otoño, invierno y primavera en dos sitios de investigación. Los valores graficados representan la media (n = 9).

La fracción (a) de gas inmediatamente soluble, registró la máxima solubilidad en verano (-7.5 ml/500 mg) y la mínima en otoño (-3.3). La especie *C. pallida* mostró la mayor solubilidad (-21.2) mientras que *F. angustifolia* mostró el valor mínimo de solubilidad (13.2) en primavera. El valor más alto para la producción de gas de la fracción de fermentación lenta (b) se registró en primavera (105.9) y el más bajo se observó en otoño (96.1). Se observaron valores más altos (141.1) en *F. angustifolia* durante el otoño, mientras que los valores más bajos (50.9) se registraron en *G. angustifolium* en invierno. El valor más alto para la fracción (c, tasa constante de producción de gas) se encontró en primavera (0.07) y los valores más bajos se detectaron en otoño (0.03). Entre las especies, los valores máximos se observaron en *G. angustifolium* en primavera (0.11), mientras que los valores mínimos se registraron en *F. angustifolia* en verano, otoño y primavera (0.01). La producción potencial de gas, fracción (a+b) fue significativamente mayor en primavera (101.5) que en invierno (92.7). La especie *F. angustifolia* mostró los valores más altos (148.7) en la temporada de primavera y *G. angustifolium* mostró los valores más bajos (48.0) en otoño. La DEMS fue mayor en *P. aculeata* (59.5) y en la estación de primavera (48.5) mientras que se registraron valores menores en *G. angustifolium* (20.3) en la estación de otoño (28.9).

Respecto a los valores de la DIVMO, la especie *C. pallida* y la estación de primavera presentaron los valores más altos (58.8% y 49.3%, respectivamente) mientras que la especie *F. angustifolia* y el verano registraron los valores más bajos de la DIVMO (34.4% y 41.4%, respectivamente) (Cuadro 18).

La DIVVMO mostró valores porcentuales similares entre estaciones y sitios ($p>0.05$). Las especies *C. pallida* y *C. suaveolens* alcanzaron los niveles más altos (88.7%) y más bajos (66.2%), respectivamente (Cuadro 18).

Cuadro 18. Producción de gas *in vitro* a las 24 h de incubación (ml / g 200 mg MS), energía metabolizable (Mcal / kg MS), parámetros de producción de gas (*a*, *b*, *c*, *a + b* y DEMS 500 mg MS), digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) y digestibilidad *in vitro* verdadera de la materia orgánica (DIVVMO) de las hojas de cinco especies arbustivas recolectadas en dos sitios de muestreo en cada estación del año de 2018 a 2019 en el noreste de México.

Estación	Sitio	Especies	PG _a ²⁴	EM	(a)	(b)	(a+b)	(c)	DEMS	DIVMO	DIVVMO
Verano	Linares	CP	26.8	1.7	-20.5	137.3	116.8	0.05	41.4	49.4	85.2
		CS	23.3	1.5	-11.8	123.3	111.6	0.04	38.7	43.4	71.1
		FA	14.6	1.2	1.5	125.8	128.7	0.02	30.1	34.4	77.9
		GA	14.3	1.3	-6.9	58.7	51.8	0.07	24.7	38.1	76.1
		PA	23.8	1.6	-3.9	82.5	78.7	0.07	42.6	44.8	72.3
	Los Ramones	CP	24.5	1.7	-19.2	122.5	103.3	0.04	35.1	49.1	84.5
		CS	18.5	1.4	-9.0	107.3	98.3	0.03	30.6	39.9	73.4
		FA	13.4	1.2	1.9	137.6	139.5	0.01	26.9	34.5	78.3
		GA	12.0	1.2	-6.4	55.2	48.8	0.06	20.3	36.0	75.1
		PA	22.8	1.5	-0.7	76.4	75.7	0.07	42.2	44.0	69.9
	Media de la temporada		19.4	1.42	-7.5	102.7	95.3	0.05	33.3	41.4	76.4
	EEM		0.6	0.0	0.5	1.4	1.4	0.00	1.0	0.6	0.4
Otoño	Linares	CP	14.2	1.4	-12.9	124.1	111.2	0.02	24.8	42.1	83.4
		CS	18.7	1.5	-6.3	100.3	94.0	0.03	31.5	43.6	68.9
		FA	14.2	1.3	3.2	141.1	144.9	0.01	27.8	38.2	75.2
		GA	12.6	1.3	-3.0	51.0	48.0	0.05	22.1	38.0	79.0
		PA	20.5	1.5	-3.4	83.1	79.7	0.05	36.6	45.0	72.7
	Los Ramones	CP	20.3	1.6	-15.9	110.5	94.5	0.04	29.6	47.5	84.2
		CS	16.7	1.4	-4.1	90.0	85.9	0.03	29.3	41.9	66.2
		FA	16.6	1.4	8.4	130.9	138.5	0.01	32.1	40.7	77.4
		GA	13.4	1.4	-1.8	50.9	49.2	0.05	23.1	39.8	78.3
		PA	16.9	1.5	2.6	78.8	82.2	0.04	32.6	42.8	68.3
	Media de la temporada		16.4	1.42	-3.3	96.1	92.8	0.03	28.9	42.0	75.3
	EEM		0.6	0.0	0.5	1.4	1.4	0.00	1.0	0.6	0.4

Continuación de **Cuadro 18.**

Invierno	Linares	CP	29.4	1.8	-14.1	118.1	104.0	0.05	46.9	53.6	88.2
		CS	26.5	1.7	-8.7	112.8	104.1	0.05	46.3	49.5	71.1
		FA	19.6	1.4	3.0	120.5	123.5	0.03	43.5	42.1	75.4
		GA	15.1	1.3	-5.7	55.5	49.8	0.07	26.0	39.8	78.4
		PA	24.5	1.6	0.1	78.5	78.6	0.07	45.6	47.0	70.1
	Los Ramones	CP	36.8	2.0	-18.9	132.3	113.3	0.07	55.8	58.3	88.7
		CS	31.4	1.8	-9.1	116.4	107.3	0.05	50.6	52.7	70.2
		FA	22.0	1.5	5.9	114.2	120.1	0.03	43.3	43.1	76.3
		GA	16.7	1.4	-5.2	53.7	48.5	0.09	29.3	41.0	79.6
		PA	26.2	1.7	6.1	71.4	77.5	0.09	51.2	49.3	64.1
Media de la temporada			24.8	1.6	-4.7	97.3	92.7	0.06	43.9	47.7	76.2
EEM			0.6	0.0	0.5	1.4	1.3	0.00	1.0	0.6	0.4
Primavera	Linares	CP	31.5	1.9	-18.7	123.1	104.4	0.06	45.7	54.8	85.2
		CS	32.7	1.9	-10.0	115.5	105.6	0.06	54.8	55.5	73.3
		FA	18.9	1.3	13.2	135.5	148.7	0.01	41.2	37.8	74.6
		GA	20.4	1.5	-1.7	60.5	58.8	0.10	38.7	43.5	74.1
		PA	31.4	1.9	1.3	88.4	89.7	0.10	59.5	55.1	77.3
	Los Ramones	CP	36.8	2.0	-21.2	135.5	114.2	0.07	55.7	58.8	84.5
		CS	33.1	1.9	-10.8	118.0	107.2	0.06	54.6	55.4	76.2
		FA	19.4	1.3	9.6	136.3	146.0	0.02	40.6	38.7	74.4
		GA	20.2	1.5	-7.3	63.6	56.3	0.11	36.4	43.2	77.9
		PA	29.9	1.8	2.0	82.6	84.6	0.10	57.4	50.6	69.2
Media de la temporada			27.4	1.7	-4.4	105.9	101.5	0.07	48.5	49.3	76.7
EEM			0.6	0.0	0.5	1.4	1.3	0.00	1.0	0.6	0.4
Fuentes de variación/ Valor-p	Estación	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.070
	Sitio	.233	.241	.215	.073	.241	.321	.666	.321	.076	
	Especies	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
	Estación * Sitio	.009	.081	.003	.032	.081	.009	.013	.111	.903	
	Estación * Especies	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
	Sitio * Especies	.059	.079	.001	.603	.079	.470	.340	.093	<.001	
	Estación * Sitio * Especies	.848	.882	.373	.029	.882	.776	.727	.904	.049	

^a PG₂₄: producción de gas *in vitro* a las 24 h, EM: energía metabolizable, (a): fracción fermentada inmediatamente, (b): fracción fermentable lentamente, (c): tasa constante de fracción de producción de gas, (a + b): gas potencial fracción de producción, DEMS: degradabilidad efectiva de la MS, DIVMO: digestibilidad de la materia orgánica *in vitro*, DIVVMO: digestibilidad *in vitro* verdadera de la materia orgánica. Los datos representan la media (n = 9). EEM, error estándar de la media. CP; *Celtis pallida*, CS; *Croton suaveolens*, FA; *Forestiera angustifolia*, GA; *Guaiaecum angustifolium*, PA; *Parkinsonia aculeata*.

13.6.- Discusión

Las hojas de las arbustivas cosechadas en diferentes épocas del año mostraron una composición química diferente ($p < 0.05$). El porcentaje de FDN fue significativamente diferente ($p < 0.05$) entre especies, sitios y estaciones, las interacciones dobles y triples también fueron significativas. Los niveles más bajos de FDN se presentaron en invierno, los más altos en otoño, de acuerdo con el avance de la madurez. Hallazgos similares fueron documentados por Hassen *et al.* (2007), en especies de arbustivas del género *Indigofera* y por Alvarado *et al.* (2012), en arbustivas nativas del noreste de México. Todas las especies evaluadas en este estudio mostraron un contenido de FDN superior al 50%, sin embargo, estos valores no fueron superiores a en comparación con los reportados por Anele *et al.* (2009) en especies de árboles de multipropósito en Nigeria, en el rango de 38 a 58% de MS y por Ramírez *et al.* (2009) en pastos que crecen en el noreste de México. Sin embargo, los resultados de FDN del presente estudio fueron superiores a los encontrados por Kamalak (2006) en *Glycyrrhiza glabra* (28.37-35.63%) en Turquía. No obstante, estos niveles de FDN pueden ser manejados adecuadamente por rumiantes.

El contenido de FDA fue bajo en primavera y los valores más altos se encontraron en otoño. Resultados similares fueron reportados por Gebremedhin *et al.* (2020), y por Domínguez-Gómez *et al.* (2013), excepto por el contenido de FDA dos veces mayor de *F. angustifolia* en el presente estudio. En cambio, los valores observados en el presente estudio son inferiores a los reportados por Sebata *et al.* (2011) (20 y 39% MS) para las especies leñosas en el semiárido suroeste de Zimbabwe y por Derero y Kitaw (2018), en zonas agro-pastorales del este de Etiopía. El alto contenido de FDA se asocia con una baja degradación ruminal, como lo indica Okunade *et al.* (2014).

La lignina mostró los niveles más bajos en primavera asociados con el nuevo crecimiento de especies arbustivas y valores crecientes cuando las plantas maduraron en una tendencia similar en comparación con los hallazgos reportados por Alvarado *et al.* (2012). El mayor contenido de lignina ($>12\%$ base MS) se asoció con baja digestibilidad en árboles y arbustos forrajeros de

pastizales áridos y semiáridos de Argelia (Bouazza *et al.*, 2012). Los valores de lignina del presente estudio (rango 2.5-9.0% MS; media general = 8.4% MS) pueden considerarse bajos a moderados, según Anele *et al.* (2009) y Kara (2019), excepto para el caso de *G. angustifolium*.

El contenido de proteína cruda, que se encuentra en las muestras de hojas evaluadas, cumplen o exceden el rango de requisitos de 7-10% (NRC 2007) para el mantenimiento y crecimiento del venado cola blanca y para cabras y ovejas adultas. Los niveles relativamente bajos (<7.5% MS) de taninos condensados (TC) registrados en estudios previos (Ramírez *et al.*, 2000; Domínguez-Gómez *et al.*, 2011), indican que los TC en estas plantas no afectaría los procesos de digestibilidad y patrones de producción de gas *in vitro* en las plantas arbustivas del presente estudio.

El contenido de extracto etéreo (EE) de las especies arbustivas fue significativamente ($p < 0.001$) mayor en las muestras recolectadas en verano que en las recolectadas en otras temporadas. También, Kamalak *et al.* (2005) reportaron mayores contenidos de EE en el heno de *Gundelia tuonefortii* con una madurez avanzada. En algunas muestras del presente estudio, un mayor valor de EE no siempre se correlacionó con un mayor nivel de energía para el animal. Sin embargo, Belachew *et al.* (2013), sugiere que el EE es un importante almacén de energía en las plantas, que los animales podrían utilizar para su mantenimiento y crecimiento.

En primavera se observaron valores más altos de energía metabolizable (EM). En general, los valores de EM se vieron afectados negativamente por el contenido de FDA ($r = -0.22$; $p < 0.01$), lignina ($r = -0.49$; $p < 0.01$), EE ($r = -0.26$; $p < 0.01$) y positivamente por el contenido de FDN ($r = 0.30$; $p < 0.01$) y PC ($r = 0.28$; $p < 0.01$). Los contenidos de EM observados (oscilaron entre 1.5 y 2.0 Mcal/kg MS) en *C. pallida*, podrían considerarse como buenas fuentes de energía en comparación con algunas muestras de heno de alfalfa (Domínguez-Gómez *et al.*, 2011), aunque más baja que el heno de lucerna (2.1 Mcal/kg MS) y el ensilado de maíz (2.2 Mcal/kg MS) según Kara (2019). Piñeiro-Vázquez *et al.* (2017) informó que la inclusión de *Leucaena leucocephala* tiene la capacidad de reducir

las pérdidas de energía en forma de emisiones de metano y aumentar la digestibilidad.

La producción de gas *in vitro* de especies arbustivas a las 24 h fue afectada negativamente por el contenido de lignina y EE ($r = -0.48$; $p < 0.01$; $r = -0.29$; $p < 0.01$) y estuvo asociada positivamente con el contenido de EM ($r = 0.97$; $p < 0.01$). El PG₂₄ registró valores incrementados en las muestras de hojas con menor contenido de lignina y EE. Los valores de PG₂₄ registrados en el presente estudio (12.0-36.8 ml/g 200 mg) fueron inferiores a los reportados por Santillán *et al.* (2015) (44-89 ml/g 200 mg MS) en muestras de hojarasca de un ecosistema de matorral y por Kara (2019), en piensos fibrosos en un rango de 36.7-75.8 ml/g 200 mg MS analizados con líquido ruminal de cabra de Damasco.

Los valores negativos para la producción de gas asociada a la fracción fermentada inmediatamente (*a*), registrados en este estudio, están dentro de los rangos (entre -3.0 a -1.7 en arbustos) por Selmi *et al.* (2010) en el norte de Túnez. También, Cerrillo *et al.* (2006) reportaron valores entre -0.9 a 0.5 ml / 200 mg, en dietas de pastoreo de cabras en el norte de México y documentaron que la producción de gas de esta fracción, se ve afectada por la madurez de las plantas. Los valores negativos de la fracción *a* no concuerdan con el concepto de que esta fracción refleja la fermentación de la parte soluble del alimento. Los volúmenes iniciales de gas, tanto bajos como altos, pueden causar valores negativos en la fracción (*a*), sin embargo, los modelos sigmoides podrían proporcionar un mejor ajuste de los exponenciales (Blümmel y Becker, 1997). La fracción *a* fue afectada por FDA ($r = 0.47$; $p < 0.01$), lignina ($r = 0.56$; $p < 0.01$) y negativamente por FDN ($r = -0.14$; $p < 0.01$), PC ($r = -0.21$; $p < 0.01$) y EM ($r = -0.39$; $p < 0.01$), de acuerdo con Cerrillo *et al.* (2006) y Kamalak (2006).

Los valores de producción de gas de la fracción de fermentación lenta (*b*) fueron similares o inferiores a los observados por Garcia-Montes *et al.* (2011), (187.3 a 89.5 ml / 500 mg) en especies de leguminosas ramoneadas en áreas subtropicales de México y son más altos que los valores (31 a 179 ml / 500 mg) encontrados por Larbi *et al.* (1998), en un estudio de árboles y arbustos forrajeros de África Occidental.

La fracción *b*, fue afectada negativamente por el contenido de FDA ($r = -0.62$; $p < 0.01$), lignina ($r = -0.53$; $p < 0.01$) y EE ($r = -0.49$; $p < 0.01$) y positivamente por el contenido de EM ($r = 0.23$; $p < 0.01$). Resultados similares fueron reportados por Domínguez-Gómez *et al.* (2011).

Los resultados para la fracción *c*, tasa constante de producción de gas, en el presente estudio variaron de 0.01 a 0.11% h^{-1} y son similares al promedio (0.03-0.11% h^{-1}) reportado por El Hassan *et al.* (2000), para follaje de algunos árboles multipropósito africanos, pero inferiores a los reportados por Cerrillo *et al.* (2006), (en un rango de 6.1 a 6.4% h^{-1}) de las dietas consumidas por cabras en pastoreo en regiones semiáridas del norte de México seleccionando especies vegetales con alto contenido de PC y alta digestibilidad. Domínguez-Gómez *et al.* (2011) encontraron un amplio rango de 2 a 13% h^{-1} , en cuatro forrajes nativos consumidos por el venado cola blanca en el noreste de México.

La fracción *c* se correlacionó positivamente con FDN ($r = 0.22$; $p < 0.01$), FDA ($r = 0.30$; $p < 0.01$) y EM ($r = 0.49$; $p < 0.01$). En el presente estudio, la fracción *c* no se correlacionó negativamente con FDN y FDA en el tejido del follaje de las especies arbustivas estudiadas. Este hecho no concuerda con los hallazgos reportados por Larbi *et al.* (1998), Cerrillo *et al.* (2006) y Kamalak (2006) en arbustos y árboles de diferentes regiones de México y África.

La producción potencial de gas, fracción (*a + b*), varió en las muestras de hojas de 48.0 a 148.7 ml/500 mg MS, y son mayores a las reportadas por Selmi *et al.* (2010) (26.1-66.6 ml/500 mg MS), en arbustos del norte de Túnez y similares a los obtenidos por Domínguez-Gómez *et al.* (2011) (51 a 126 ml/500 mg de MS), incluso con el uso de polietilenglicol (PEG) en ambos estudios. La fracción *a + b* se vio afectada negativamente por el contenido de FDA ($r = -0.48$; $p < 0.01$), lignina ($r = -0.47$; $p < 0.01$), PC ($r = -0.25$; $p < 0.01$) y EE ($r = -0.51$; $p < 0.01$); hallazgos similares de la producción potencial de gas correlacionados negativamente con FDN y EE fueron reportados por Kamalak *et al.* (2005) y para PC por Camacho *et al.* (2010) de tres árboles forrajeros mexicanos.

La DIVMO en este estudio se asoció con PG₂₄ y un contenido de EM ($r = 0.99$; $p < 0.01$; $r = 0.98$; $p < 0.01$, respectivamente) y se vio afectado negativamente por el contenido de lignina ($r = -0.50$; $p < 0.01$). Los resultados aquí reportados fueron superiores a los observados en *Detarium microcarpum* (32.1%) y *Afzelia africana* (49.1% MS), plantas ramoneadas en Nigeria, registradas por Okunade *et al.* (2014), así como los reportados para hojas de *Quercus rugosa* en el occidente de México (Carrillo-Muro *et al.*, 2018) y árboles forrajeros no leguminosos en la región tropical del sur de México, observados por Rojas-Hernández *et al.* (2015). Jančík *et al.* (2011), encontraron altas correlaciones con otras estimaciones de DIVMO y con la tasa de digestión estimada determinada utilizando la producción de gas *in vitro* y sugieren que este método puede ser útil para clasificar el valor nutricional de los forrajes.

Además, los valores más altos de *C. pallida*, *C. suaveolens* y *P. aculeata* pueden estar asociados con su contenido de FDN. Estudios adicionales deberían considerar analizar la desaparición de FDN ya que Kara (2019), encontró una correlación positiva entre FDN y digestibilidad, cuando se determina con este método.

Los valores de la DIVVMO se vieron afectados negativamente por la FDA y el contenido de lignina ($r = -0.82$; $p < 0.01$; $r = -0.50$; $p < 0.01$, respectivamente). Estos resultados son comparables con estudios previos en hojarasca reportados por Santillán *et al.* (2015). Trujillo *et al.* (2010) demostraron que el incubador Daisy^{II} subestimó los valores de desaparición de FDN en comparación con los métodos *in situ*. No se encontraron variaciones estacionales o diferencias espaciales en la DIVVMO en muestras de follaje. Estos hallazgos reflejan que las diferencias entre las especies están asociadas con su composición química individual. Sin embargo, las diferencias del 14.8% al 45% entre el DIVMO estimado y el DIVVMO podrían atribuirse al período de incubación más largo de 48 h con el incubador Daisy^{II}. Además, la DIVMO se calcula con el PG₂₄, con solo 24 h de tiempo de incubación. Las hojas de algunas plantas arbustivas necesitan más de 72 h para estudios de digestibilidad *in sacco* para lograr una estimación precisa (Norman *et al.*, 2010).

La especie *C. pallida* mostró patrones más altos de fermentación ruminal *in vitro*, DIVMO e DIVVMO reportados en el presente estudio. Las observaciones pueden estar relacionadas con el contenido total de fenólicos y saponinas sugerido por Salem *et al.* (2014). Generalmente, a medida que avanza la etapa fenológica, aumenta la PC y FDN, mientras que el contenido de DIVMO y EM disminuye. Por lo contrario, la DIVVMO se ve afectada por la FDA y el contenido de lignina y estas respuestas minimizan los efectos de la temporada de cosecha en la DIVVMO.

14.- CONCLUSIONES

La especie *C. pallida* mostró los mejores niveles de macrominerales, mientras que *P. aculeata* presentó los niveles más altos de micro-minerales. Las especies de arbustivas de este estudio pueden considerarse una buena fuente de Ca, K, Mg, Fe y Mn, excepto en *C. suaveolens*. Sin embargo, se debe suplementar P, Cu y Zn para cubrir los requerimientos metabólicos de los pequeños rumiantes en pastoreo extensivo, en áreas donde consumen estas arbustivas. Además, se requieren estudios de alimentación y silvopastoriles-agroforestales para seleccionar las mejores especies de arbustos para asegurar su eficiente adaptabilidad y aceptación por parte de pequeños rumiantes en pastizales semiáridos del noreste de México.

Los resultados aquí presentados han demostrado que el contenido de PC de las especies arbustivas estudiadas fue lo suficientemente alto durante todo el año como para considerar la exploración de estas especies como una fuente alternativa de proteína para pequeños rumiantes en sistemas de pastoreo extensivo. Sin embargo, el método utilizado para determinar la PC en este estudio solo estimó el N total. Los estudios adicionales deben enfocarse en determinar las proteínas unidas en compuestos secundarios de proteínas que pueden no estar disponibles para la asimilación por los animales. Los resultados del presente estudio sugieren que los arbustos *F. angustifolia*, *G. angustifolium*, pero especialmente *C. pallida*, pueden considerarse altamente digestibles; sin embargo, se requieren más estudios con bolsas de diferentes tamaños de poros, molienda y pesos de muestra para estandarizar y obtener resultados más precisos utilizando el incubador Daisy^{II}.

En general, los componentes de la pared celular, el contenido de LDA y PC tienden a aumentar, mientras que la digestibilidad muestra una tendencia a disminuir con la madurez fisiológica de la planta, teniendo los niveles más altos de digestibilidad en los meses de primavera, época de crecimiento y desarrollo

activo de las plantas en el ecosistema del matorral de espinoso tamaulipeco del noreste de México. Se concluye que todas las especies arbustivas estudiadas mantuvieron altos valores de digestibilidad durante el período experimental y por tanto pueden ser consideradas como un recurso alimenticio alternativo durante todo el año.

La temporada de colecta afectó el valor nutritivo de hojas de las arbustivas del Matorral Espinoso Tamaulipeco en estudio. La lignina, la PC, la EM y los parámetros de producción de gas *in vitro* se vieron afectados negativamente por la estación. Las plantas ramoneadas utilizadas en el presente estudio parecen tener una fermentación ruminal eficiente para una utilización de energía metabolizable y alto contenido de proteína cruda.

La digestibilidad verdadera *in vitro* de la materia orgánica no mostró cambios en las diferentes estaciones del año. Las especies *C. pallida*, *F. angustifolia* y *G. angustifolium* recolectadas durante el año ofrecen potencial para considerarlas como forraje alternativo para rumiantes. Son necesarios estudios adicionales para determinar la FDN digestible en *C. suaveolens* y *P. aculeata* para evaluar su calidad como forraje durante el período crítico en los agostaderos semiáridos del noreste de México son fundamentales.

15.- BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, M. D. S., González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R. G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., Cotera-Correa, M., Jurado-Ybarra, E., & Domínguez-Gómez, T. G. (2012). Chemical composition and digestion of shrubs browsed by white-tailed deer (*Odocoileus virginianus Texanus*). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 11(23), 4428–4434. <https://doi.org/10.3923/javaa.2012.4428.4434>
- Ammar, H., López, S., Andrés, S., Ranilla, M. J., Bodas, R., & González, J. S. (2008). *In vitro* digestibility and fermentation kinetics of some browse plants using sheep or goat ruminal fluid as the source of inoculum. *Animal Feed Science and Technology*, 147(1–3), 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.09.011>
- Ammar, H., López, S., González, J. S., & Ranilla, M. J. (2004). Seasonal variations in the chemical composition and *in vitro* digestibility of some Spanish leguminous shrub species. *Animal Feed Science and Technology*, 115(3–4), 327–340. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.03.003>
- Anele, U. Y., Arigbede, O. M., Südekum, K. H., Oni, A. O., Jolaosho, A. O., Olanite, J. A., Adeosun, A.I., Dele, P.A., & Akinola, O. B. (2009). Seasonal chemical composition, *in vitro* fermentation and *in sacco* dry matter degradation of four indigenous multipurpose tree species in Nigeria. *Animal Feed Science and Technology*, 154(1–2), 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.07.007>
- AOAC. (1997). Official methods of analysis of AOAC International. 16th ed. Washington, D.C., 1997.
- AOAC. (2012). Official Methods of Analysis 19th Ed. Association of Official Analytical Chemists, (Gaithersburg, Maryland, USA). 2012.
- Assouma, M. H., Lecomte, P., Hiernaux, P., Ickowicz, A., Corniaux, C., Decruyenaere, V., Diarra, A.R., & Vayssières, J. (2018). How to better account for livestock diversity and fodder seasonality in assessing the fodder intake of livestock grazing semi-arid sub-Saharan Africa rangelands.

- Livestock Science*, 216, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.07.002>
- Avornyo, F. K., Partey, S. T., Zougmore, R. B., Asare, S., Agbolosu, A. A., Akufo, N. M., Sowah, N. A., & Konlan, S. P. (2019). *In vivo* digestibility of six selected fodder species by goats in northern Ghana. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 473–480 (2020) <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01989-w>
- Belachew, Z., Yisehak, K., Taye, T., & Janssens, G. P. J. (2013). Chemical composition and *in sacco* ruminal degradation of tropical trees rich in condensed tannins. *Czech Journal of Animal Science*, 58(4), 176–192. <https://doi.org/10.17221/6712-cjas>
- Blummel, B. Y. M., & Becker, K. (1997). The degradability characteristics of fifty-four roughages and roughage neutral detergent fibres as described by *in vitro* gas production and their relationship to voluntary feed intake. *British Journal of Nutrition*, 77, 757–768. <https://doi.org/10.1079/BJN19970073>
- Bouazza, L., Bodas, R., Boufennara, S., Bousseboua, H., & López, S. (2012). Nutritive evaluation of foliage from fodder trees and shrubs characteristic of algerian arid and semi-arid areas. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 21(3), 521–536. <https://doi.org/10.22358/jafs/66126/2012>
- Buthelezi, L. S., Mupangwa, J. F., Muchenje, V., & Nherera-Chokuda, F. V. (2019). Influence of drying technique on chemical composition and ruminal degradability of subtropical *Cajanus cajan* L. *Animal Nutrition*, 5(1), 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.001>
- Camacho, L. M., Rojo, R., Salem, A. Z. M., Mendoza, G. D., López, D., Tinoco, J. L., Albarrán, B., & Montañez-Valdez, O. D. (2010). *In vitro* ruminal fermentation kinetics and energy utilization of three Mexican tree fodder species during the rainy and dry period. *Animal Feed Science and Technology*, 160(3–4), 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.07.008>
- Cantú-Silva, I., Díaz-García, K. E., Yañez-Díaz, M. I., Gonzalez-Rodriguez, H., & Martínez-Soto, R. A. (2018). Caracterización fisicoquímica de un Calcisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo en el noreste de México. *Revista*

- Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49), 59–86.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.153>
- Carrillo-Muro, O., Ramírez-Lozano, R. G., Castro-Rosales, A. S., Hernández-Briano, P., López-Carlos, M. A., González-Ronquillo, M., Rivera-Villegasa, A., Méndez-Llorente, F., & Aguilera-Soto, J. I. (2018). Influence of landscape and collection period on yield, nutritive value and *in vitro* digestibility of *Quercus rugosa* leaf litter and its potential use as sheep feed. *Small Ruminant Research*, 166, 73–77.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.07.012>
- Cerrillo, M. A., López, O. O., Nevárez, C. G., Ramírez, R. G., & Juárez, R. A. S. (2006). Nutrient content, intake and *in vitro* gas production of diets by Spanish goats browsing a thorn shrubland in North Mexico. *Small Ruminant Research*, 66(1–3), 76–84.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.025>
- Chávez-Espinoza, M., González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Cotera-Correa, M., Estrada-Castillón, A. E., Bernal-Barragán, H., & Gómez-Meza, M. V. (2020). Foliar mineral content of five shrub species with nutritional potential for small ruminants in semiarid regions in northeastern Mexico. *Ciência Rural*, 50(10), 1–11. <https://doi.org/http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200202>
- Damiran, D., DelCurto, T., Bohnert, D. W., & Findholt, S. L. (2008). Comparison of techniques and grinding size to estimate digestibility of forage based ruminant diets. *Animal Feed Science and Technology*, 141(1–2), 15–35.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.007>
- Derero, A., & Kitaw, G. (2018). Nutritive values of seven high priority indigenous fodder tree species in pastoral and agro-pastoral areas in Eastern Ethiopia. *Agriculture and Food Security*, 7(68), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0216-y>
- Domínguez-Gómez, T. G., González-Rodríguez, H., Guerrero-Cervantes, M., Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A. S., Alvarado, M. del S., & Ramírez-Lozano, R. G. (2011). Influencia del polientilén glicol sobre los parámetros

- de producción de gas *in vitro* en cuatro forrajeras nativas consumidas por el venado cola blanca. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 17(Especial), 21–32.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.073>
- Domínguez-Gómez, T. G., González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R. G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., Cantú-Ayala, C. M., & Alvarado, M. D. S. (2013). Nutritional profile of four shrub species, Northeastern Mexico. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 4(1), 1–8.
- Domínguez-Gómez, T. G., Ramírez-Lozano, R., Estrada-Castillón, A., Scott-Morales, L., González-Rodríguez, H., & Alvarado, M. (2012). Importancia nutrimental en plantas forrajeras del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*, 15(59), 77–93.
- Domínguez-Gómez, T. G., Ramírez-Lozano, R. G., González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., & Alvarado, M. D. S. (2014). Mineral content in four browse species from northeastern Mexico. *Pakistan Journal of Botany*, 46(4), 1421–1429.
- El Hassan, S. M., Lahlou Kassi, A., Newbold, C. J., & Wallace, R. J. (2000). Chemical composition and degradation characteristics of foliage of some African multipurpose trees. *Animal Feed Science and Technology*, 86(1–2), 27–37. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00158-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00158-9)
- Estell, R. E., Havstad, K. M., Cibils, A. F., Fredrickson, E. L., Anderson, D. M., Schrader, T. S., & James, D. K. (2012). Increasing shrub use by livestock in a world with less grass. *Rangeland Ecology and Management*, 65(6), 553–562. <https://doi.org/10.2111/REM-D-11-00124.1>
- Estrada-Castillón, E., Villarreal-Quintanilla, J. Á., Rodríguez-Salinas, M. M., Encinas-Domínguez, J. A., González-Rodríguez, H., Figueroa, G. R., & Arévalo, J. R. (2018). Ethnobotanical survey of useful species in Bustamante, Nuevo León, Mexico. *Human Ecology*, 46(1), 117–132.
<https://doi.org/10.1007/s10745-017-9962-x>
- Fan, Q., Wang, Z., Chang, S., Peng, Z., Wanapat, M., & Hou, F. (2019). Relationship of mineral elements in sheep grazing in the highland agro-

- ecosystem. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(1), 44–52.
<https://doi.org/10.5713/ajas.18.0955>
- Foroughbakhch, R. (1992). Establishment and growth potential of fuelwood species in northeastern Mexico. *Agroforestry Systems*, 19(2), 95–108.
<https://doi.org/10.1007/BF00138500>
- Foroughbakhch, R., Hernández-Piñero, J. L., Carrillo-Parra, A., & Rocha-Estrada, A. (2013). Composition and animal preference for plants used for goat feeding in semiarid Northeastern Mexico. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(4), 1034–1040. Retrieved from <http://www.thejaps.org.pk/docs/v-23-4/14.pdf>
- Foroughbakhch, Rahim, Reyes, G., Alvarado-Vázquez, M. A., Hernández-Piñero, J., & Rocha-Estrada, A. (2005). Use of quantitative methods to determine leaf biomass on 15 woody shrub species in northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 216(1–3), 359–366.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.046>
- Gámez Vázquez, H. G., Urrutia Morales, J., Rosales Nieto, C. A., Meza-Herrera, C. A., Echavarría Chaires, F. G., & Beltrán López, S. (2017). *Tillandsia recurvata* and its chemical value as an alternative use for feeding ruminants in northern Mexico. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 295–300.
<https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1299013>
- García-Montes de Oca, C. A., Gonzalez-Ronquillo, M., Salem, A. Z. M., Romero-Bernal, J., Pedraza, J. F., Estrada, J. G. (2011). Chemical composition and *in vitro* gas production of some legume browse species in subtropical areas of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 589–595.
- Gebremedhin, A. T., Gedo, A. H., Edo, G. Y., & Haile, S. T. (2020). Evaluation of multi-functional fodder tree and shrub species in mid-altitudes of South Omo Zone, Southern Ethiopia. *Journal of Horticulture and Forestry*, 12(1), 27–34.
<https://doi.org/10.5897/JHF2019.0617>
- Getachew, G., DePeters, E. J., Robinson, P. H., & Fadel, J. G. (2005). Use of an *in vitro* rumen gas production technique to evaluate microbial fermentation of ruminant feeds and its impact on fermentation products. *Animal Feed*

- Science and Technology*, 123–124, 547–559.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.034>
- González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., & Ramírez-Lozano, R. G. (2004). Plant water relations of thornscrub shrub species, north-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 58(4), 483–503.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2003.12.001>
- Guerrero-Cervantes, M., Ramirez, R. G., Cerrillo-Soto, M. A., Montoya-Escalante, R., Nevarez-Carrasco, G., & Juarez-Reyes, A. S. (2008). Dry matter digestion of native forages consumed by range goats in North Mexico. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(3), 408–412.
- Guerrero-Cervantes, M., Ramírez, R. G., González-Rodríguez, H., Cerrillo-Soto, A., & Juárez-Réyes, A. (2012). Mineral content in range forages from north Mexico. *Journal of Applied Animal Research*, 40(2), 102–107.
<https://doi.org/10.1080/09712119.2011.607907>
- Guerrero, M., Cerrillo-Soto, M. A., Ramírez, R. G., Salem, A. Z. M., González, H., & Juárez-Reyes, A. S. (2012). Influence of polyethylene glycol on *in vitro* gas production profiles and microbial protein synthesis of some shrub species. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1–4), 32–39.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.005>
- Habib, G., Khan, N. A., Sultan, A., & Ali, M. (2016). Nutritive value of common tree leaves for livestock in the semi-arid and arid rangelands of Northern Pakistan. *Livestock Science*, 184, 64–70.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.12.009>
- Hassen, A., Rethman, N. F. G., van Niekerk, W. A., & Tjelele, T. J. (2007). Influence of season/year and species on chemical composition and *in vitro* digestibility of five Indigofera accessions. *Animal Feed Science and Technology*, 136(3–4), 312–322.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.09.010>
- Heyden, F. Van Der, & Stock, W. D. (1996). Regrowth of a Semiarid shrub following simulated browsing: The role of reserve carbon. *Functional Ecology*, 10(5), 647–653. <https://doi.org/10.2307/2390175>

- Holden, L. A. (1999). Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. *Journal of Dairy Science*, 82(8), 1791–1794. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75409-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75409-3)
- Huber, K., Walter, C., Schröder, B., & Breves, G. (2002). Phosphate transport in the duodenum and jejunum of goats and its adaptation by dietary phosphate and calcium. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 283, 296–302. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00760.2001>
- Jančík, F., Rinne, M., Homolka, P., Čermák, B., & Huhtanen, P. (2011). Comparison of methods for forage digestibility determination. *Animal Feed Science and Technology*, 169(1–2), 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.05.003>
- Kamalak, A. (2006). Determination of nutritive value of leaves of a native grown shrub, *Glycyrrhiza glabra* L. using *in vitro* and *in situ* measurements. *Small Ruminant Research*, 64(3), 268–278. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.04.027>
- Kamalak, A., Canbolat, O., Gurbuz, Y., Erol, A., & Ozay, O. (2005). Effect of maturity stage on chemical composition, *in vitro* and *in situ* dry matter degradation of tumbleweed hay (*Gundelia tournefortii* L.). *Small Ruminant Research*, 58, 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.09.011>
- Kara, K. (2019). The *in vitro* digestion of neutral detergent fibre and other ruminal fermentation parameters of some fibrous feedstuffs in Damascus goat (*Capra aegagrus hircus*). *Journal of Animal and Feed Sciences*, 28(2), 159–168. <https://doi.org/10.22358/jafs/108990/2019>
- Lanzas, C., Sniffen, C. J., Seo, S., Tedeschi, L. O., & Fox, D. G. (2007). A revised CNCPS feed carbohydrate fractionation scheme for formulating rations for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 136(3–4), 167–190. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.08.025>
- Larbi, A., Smith, J. W., Kurdi, I. O., Adekunle, I. O., Raji, A. M., & Ladipo, D. O. (1998). Chemical composition, rumen degradation, and gas production characteristics of some multipurpose fodder trees and shrubs during wet and

- dry seasons in the humid tropics. *Animal Feed Science and Technology*, 72(1–2), 81–96. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00170-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00170-3)
- Ludwig, J. A., Reynolds, J. F., & Whitson, P. D. (1975). Size-biomass relationships of several Chihuahuan Desert shrubs. *American Midland Naturalist*, 94(2), 451–461. doi.org/10.2307/2424437
- Luske, B., & van Eekeren, N. (2018). Nutritional potential of fodder trees on clay and sandy soils. *Agroforestry Systems*, 92(4), 975–986. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0180-8>
- Mabjeesh, S. J., Cohen, M., & Arieli, A. (2000). *In vitro* methods for measuring the dry matter digestibility of ruminant feedstuffs: Comparison of methods and inoculum source. *Journal of Dairy Science*, 83(10), 2289–2294. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75115-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75115-0)
- Mahmood, A., Hassan, A., Maqsood, I., Li-jie, T., Mohsin Bukhari, S., Ur-Rehman, K., & Andleeb, S. (2014). Assessment of phosphorus levels in small ruminants as affected by summer and winter. *Journal of Northeast Agricultural University (English Edition)*, 21(1), 45–51. [https://doi.org/10.1016/s1006-8104\(14\)60021-0](https://doi.org/10.1016/s1006-8104(14)60021-0)
- McDonald, I. (1981). A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 96(1), 251–252. <https://doi.org/10.1017/S0021859600032081>
- Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *The Journal of Agricultural Science*, 93(1), 217–222. <https://doi.org/10.1017/S0021859600086305>
- Menke, K. H., & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*. 28:7– 55.
- Meyer, Michael W., Brown, Robert D. & Graham, M. W. (1984). Protein and energy content of white-tailed deer diets in the Texas Coastal Bend. *Journal of Wildlife Management*, 48(2), 527–534. <https://doi.org/10.2307/3801185>

- Mnisi, C. M., & Mlambo, V. (2017). Influence of harvesting site on chemical composition and potential protein value of *Acacia erioloba*, *A. nilotica* and *Ziziphus mucronata* leaves for ruminants. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(5), 994–1003. <https://doi.org/10.1111/jpn.12535>
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y Análisis de Experimentos*. (2nd ed). Limusa-Wiley. México D.F., 79-81.
- Norman, H. C., Revell, D. K., Mayberry, D. E., Rintoul, A. J., Wilmot, M. G., & Masters, D. G. (2010). Comparison of *in vivo* organic matter digestion of native Australian shrubs by sheep to *in vitro* and *in sacco* predictions. *Small Ruminant Research*, 91(1), 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.11.019>
- NRC. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids*. National Research Council of the National Academies, Washington, DC.
- O’Keeffe, P. A., Orchard, D. J., Orchard, B. A., Piltz, J. W., & Clayton, E. H. (2015). Native Australian shrub legume species may provide an alternative feed source for livestock. *Animal Production Science*, 55(9), 1090–1096. <https://doi.org/10.1071/AN14505>
- Okunade, S.A., Isah, O.A., Aderinboye, R.Y., & Olafadehan, O. A. (2014). Assessment of chemical composition and *in vitro* degradation profile of some Guinea Savannah browse plants of Nigeria. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, 529–538.
- Olafadehan, O. A., & Okunade, S. A. (2018). Fodder value of three browse forage species for growing goats. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(1), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.01.001>
- Oliveira, O. F. De, Lima, A. F. De, Dos Santos, M. V. F., Guim, A., Da Cunha, M. V, & Lira, M. D. A. (2018). Chemical composition of hays of the Caatinga shrub legumes mororó and sabiá from different parts of the plant. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 6(2), 111–116. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(6\)111-116](https://doi.org/10.17138/TGFT(6)111-116)
- Opping, S., Kemp, P., & Douglas, G. (2008). Browse shrubs and trees as fodder

- for ruminants: A review on management and quality. *Journal of Science and Technology (Ghana)*, 28(1), 65–75. <https://doi.org/10.4314/just.v28i1.33079>
- Orskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499–503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Pal, K., Patra, A. K., Sahoo, A., & Kumawat, P. K. (2015). Evaluation of several tropical tree leaves for methane production potential, degradability and rumen fermentation *in vitro*. *Livestock Science*, 180, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.07.011>
- Perryman, B. L., Shenkoru, T., Bruce, L. B., & Hussein, H. S. (2011). Plant age and growing season nutritional content relationships of three *Artemisia tridentata* subspecies. *Rangeland Ecology and Management*, 64(1), 78–84. <https://doi.org/10.2111/REM-D-09-00085.1>
- Piñeiro-Vázquez, A. T., Jiménez-Ferrer, G. O., Chay-Canul, A. J., Casanova-Lugo, F., Díaz-Echeverría, V. F., Ayala-Burgos, A. J., Solorio-Sánchez, F.J., Aguilar-Pérez, C.F., & Ku-Vera, J. C. (2017). Intake, digestibility, nitrogen balance and energy utilization in heifers fed low-quality forage and *Leucaena leucocephala*. *Animal Feed Science and Technology*, 228, 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.04.009>
- Raffrenato, E., Fievisohn, R., Cotanch, K. W., Grant, R. J., Chase, L. E., & Van Amburgh, M. E. (2017). Effect of lignin linkages with other plant cell wall components on *in vitro* and *in vivo* neutral detergent fiber digestibility and rate of digestion of grass forages. *Journal of Dairy Science*, 100(10), 8119–8131. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12364>
- Ramírez-Lozano, R. G., González-Rodríguez, H., Gómez-Meza, M. V., Cantú-Silva, I., & Uvalle-Sauceda, J. I. (2010). Spatio-temporal variations of macro and trace mineral contents in six native plants consumed by small ruminants at Northeastern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2), 267–281.
- Ramírez-Lozano, R. G., Ledezma-Torres, R. A., & González-Rodríguez, H.

- (2016). Influence of the shrubs *Celtis pallida* and *Ziziphus obtusifolia* on intake, digestion and N balance by sheep. *Veterinarija Ir Zootechnika*, 74(96), 18–22.
- Ramírez-Orduña, R., Ramírez, R. G., González-Rodríguez, H., & Haenlein, G. F. W. (2005). Mineral content of browse species from Baja California Sur, Mexico. *Small Ruminant Research*, 57(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.03.004>
- Ramírez, R. G. (1999). Feed resources and feeding techniques of small ruminants under extensive management conditions. *Small Ruminant Research*, 34(3), 215–230. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00075-9](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00075-9)
- Ramírez, R. G., González-Rodríguez, H., Morales-Rodríguez, R., Cerrillo-Soto, A., Juárez-Reyes, A., García-Dessommes, G. J., & Guerrero-Cervantes, M. (2009). Chemical composition and dry matter digestion of some native and cultivated grasses in Mexico. *Czech Journal of Animal Science*, 54(4), 150–162. <https://doi.org/10.17221/1741-CJAS>
- Ramírez, R. G., González-Rodríguez, H., Ramírez-Orduña, R., Cerrillo-Soto, M. A., & Juárez-Reyes, A. S. (2006). Seasonal trends of macro and micro minerals in 10 browse species that grow in northeastern Mexico. *Animal Feed Science and Technology*, 128(1–2), 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.10.005>
- Ramírez, R. G., Haenlein, G. F. W., & Núñez-González, M. A. (2001). Seasonal variation of macro and trace mineral contents in 14 browse species that grow in northeastern Mexico. *Small Ruminant Research*, 39(2), 153–159. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(00\)00184-X](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(00)00184-X)
- Ramírez, R. G., Quintanilla, J. B., & Aranda, J. (1997). White-tailed deer food habits in northeastern Mexico. *Small Ruminant Research*, 25(2), 141–146. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)00960-1](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00960-1)
- Ramírez, R. G., Neira-Morales, R. R., Ledezma-Torres, R. A., & Garibaldi-González, C. A. (2000). Ruminal digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern Mexico. *Small Ruminant Research*, 36(1), 49–55. <https://doi.org/10.1016/S0921->

- Revell, D. K. A., Norman, H. C. A., Vercoe, P. E. B., Phillips, N. A., Toovey, A. A., & Bickell, S. C. (2013). Australian perennial shrub species add value to the feed base of grazing livestock in low- to medium-rainfall zones. *Animal Production Science*, 53, 1221–1230. <https://doi.org/dx.doi.org/10.1071/AN13238>
- Rodríguez-Santillán, P., Guerrero-Cervantes, M., Ramírez-Lozano, R. G., Bernal-Barragán, H., González-Rodríguez, H., & Juárez-Reyes, A. (2015). Nutritional profile of leaf litterfall as feed resource for grazing animals in semiarid regions. *Life Science Journal*, 12(10), 54–61. <https://doi.org/10.7537/marslsj121015.06>
- Rojas-Hernández, S., Olivares-Pérez, J., Elghandour, M. M. M. Y., Cipriano-Salazar, M., Ávila-Morales, B., Camacho-Díaz, L. M., Salem, A. Z. M. & Cerrillo-Soto, M. A. (2015). Effect of polyethylene glycol on *in vitro* gas production of some non-leguminous forage trees in tropical region of the south of Mexico. *Agroforestry Systems*, 89(4), 735–742. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9796-8>
- Salem, A. Z. M. (2005). Impact of season of harvest on *in vitro* gas production and dry matter degradability of *Acacia saligna* leaves with inoculum from three ruminant species. *Animal Feed Science and Technology*, 123–124, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.042>
- Salem, A. Z. M., Kholif, A. E., Elghandour, M. M. Y., Hernandez, S. R., Domínguez-Vara, I. A., & Mellado, M. (2014). Effect of increasing levels of seven tree species extracts added to a high concentrate diet on *in vitro* rumen gas output. *Animal Science Journal*, 85(9), 853–860. <https://doi.org/10.1111/asj.12218>
- Sanon, H. O., Kaboré-Zoungana, C., & Ledin, I. (2007). Behaviour of goats, sheep and cattle and their selection of browse species on natural pasture in a Sahelian area. *Small Ruminant Research*, 67(1), 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.09.025>
- Schindler, J. R., Fulbright, T. E., & Forbes, T. D. A. (2003). Influence of thorns

- and tannins on white-tailed deer browsing after mowing. *Journal of Arid Environments*, 55(2), 361–377. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00021-1](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00021-1)
- Sebata, A., Ndlovu, L. R., & Dube, J. S. (2011). Chemical composition, *in vitro* dry matter digestibility and *in vitro* gas production of five woody species browsed by Matebele goats (*Capra hircus* L.) in a semi-arid savanna, Zimbabwe. *Animal Feed Science and Technology*, 170(1–2), 122–125. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.07.013>
- Seidavi, A., Tavakoli, M., Rasouli, B., Corazzin, M., & Salem, A. Z. M. (2018). Application of some trees/shrubs in ruminant feeding: a review. *Agroforestry Systems*, 94, 1353–1364. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0313-8>
- Selmi, H., Gasmi-Boubaker, A., Mosquera-Losada, R., Rekik, B., Ben-Gara, A., Ben-Mahmoud, A., Rigueiro-Rodríguez, A., & Rouissi, H. (2010). *In vitro* gas production by fodder shrubs from the north of Tunisia. *Livestock Research for Rural Development*, 22(3), 1–5.
- Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G., & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*. <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>
- Soliva, C. R., Zeleke, A. B., Clément, C., Hess, H. D., Fievez, V., & Kreuzer, M. (2008). *In vitro* screening of various tropical foliages, seeds, fruits and medicinal plants for low methane and high ammonia generating potentials in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 147(1–3), 53–71. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.09.009>
- Tassone, S., Fortina, R., & Peiretti, P. G. (2020). *In vitro* techniques using the Daisy^{II} incubator for the assessment of digestibility: A review. *Animals*, 10(5), 1–24. <https://doi.org/10.3390/ani10050775>
- Trujillo, A. I., Marichal, M. de J., & Carriquiry, M. (2010). Comparison of dry matter and neutral detergent fibre degradation of fibrous feedstuffs as determined with *in situ* and *in vitro* gravimetric procedures. *Animal Feed Science and Technology*, 161(1–2), 49–57.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.08.001>

- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Wilkens, M. R., Richter, J., Fraser, D. R., Liesegang, A., Breves, G., & Schröder, B. (2012). In contrast to sheep, goats adapt to dietary calcium restriction by increasing intestinal absorption of calcium. *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology*, 163(3–4), 396–406.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2012.06.011>
- Yousef Elahi, M., & Rouzbehan, Y. (2008). Characterization of *Quercus persica*, *Quercus infectoria* and *Quercus libani* as ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 140(1–2), 78–89.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.02.009>

16.- ANEXOS

Cuadro A 1. Coeficientes de correlación de Pearsons entre la composición química de 5 especies arbustivas colectadas en dos sitios de muestreo en el noreste de México de julio 2018 a junio 2019.

	MS	MO	Cen	FDN	FDA	LIG	CEL	Hemicel	PC	EE	CNE
MO	.25**										
Cen	-.25**	-.1**									
FDN	-.15**	-.02	.02								
FDA	.29**	.54**	-.54**	.30**							
LIG	.31**	.32**	-.32**	-.12*	.73**						
CEL	.13*	.49**	-.49**	.54**	.77**	.13*					
Hemicel	-.36**	-.43**	.43**	.68**	-.50**	-.67**	-.10				
PC	-.28**	-.27**	.27**	.27**	-.05	-.15**	.07	.30**			
EE	.24**	-.29**	.29**	-.05	.21**	.45**	-.11*	-.21**	.01		
CNE	.30**	.61**	-.61**	-.70**	.06	.22**	-.12*	-.69**	-.69**	-.21**	
EM Mcal	-.15**	-.16**	.16**	.30**	-.22**	-.49**	.13*	.44**	.28**	-.26**	-.33**

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (2 colas).

* La correlación es significativa en el nivel 0.05 (2 colas).

Cuadro A 2. Coeficientes de correlación de Pearson de la composición química entre los parámetros fermentativos, PG₂₄ h y digestibilidades *in vitro* de 5 especies arbustivas colectadas en dos sitios de muestreo en el noreste de México de julio 2018 a junio 2019.

	MS	MO	Cen	FDN	FDA	LIG	CEL	Hem icel	PC	EE	CNE	EM Mcal /kg
a	.25**	.62**	-.62**	-.14**	.47**	.56**	.16**	-.48**	-.21**	-.03	.46**	-.39**
b	-.21**	.03	-.03	-.09	-.62**	-.63**	-.31**	.40**	-.18**	-.49**	.18**	.30**
c	.15**	-.07	.07	.28**	.30**	.16**	.29**	-.06	.10	.18**	-.20**	.47**
a+b	-.13*	.22**	-.22**	-.12*	-.48**	-.47**	-.27**	.26**	-.25**	-.51**	.32**	.11*
PG ₂₄ h	-.09	-.08	.08	.24**	-.22**	-.48**	.12*	.38**	.03	-.29**	-.15**	.97**
DEMS	.02	.13*	-.13*	.22**	-.08	-.35**	.20**	.25**	-.05	-.33**	-.01	.89**
DIVMS	-.30**	-.62**	.62**	-.24**	-.84**	-.55**	-.71**	.43**	.13*	.01	-.18**	.22**
DIVVMO	-.19**	-.73**	.73**	-.24**	-.82**	-.50**	-.73**	.42**	.14**	.10	-.25**	.20**
DIVMO	-.18**	-.20**	.20**	.30**	-.25**	-.51**	.11*	.46**	.33**	-.26**	-.38**	.98**

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (2 colas).

* La correlación es significativa en el nivel 0.05 (2 colas).

Cuadro A 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre los parámetros fermentativos, PG₂₄ h y digestibilidades *in vitro* de 5 especies arbustivas colectadas en dos sitios de muestreo en el noreste de México de julio 2018 a junio 2019.

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a+b</i>	PG ₂₄ h	DEMS	DIVMS	DIVVMO
<i>b</i>	-.21**							
<i>c</i>	-.13*	-.53**						
<i>a+b</i>	.09	.95**	-.58**					
PG ₂₄ h	-.35**	.29**	.47**	.20**				
DEMS	-.05	.25**	.49**	.24**	.94**			
DIVMS	-.44**	.40**	-.09	.27**	.18**	.07		
DIVVMO	-.48**	.32**	-.05	.17**	.17**	.03	.98**	
DIVMO	-.42**	.22**	.48**	.10	.95**	.86**	.25**	.23**

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (2 colas).

* La correlación es significativa en el nivel 0.05 (2 colas).

16.1.- Publicaciones

Chávez-Espinoza M, González-Rodríguez H, Cantú-Silva I, Cotería-Correa M, Estrada-Castillón AE, Bernal-Barragán H, Gómez-Meza MV. 2020. Foliar mineral content of five shrub species with nutritional potential for small ruminants in semiarid regions in northeastern Mexico. *Ciência Rural* 50(10):1–11. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200202>

Chávez-Espinoza M, Bernal-Barragán H, Vásquez-Aguilar N, Cantú-Silva I, Cotería-Correa M, Estrada-Castillón A, González-Rodríguez H, Sarquis-Ramírez J. (2021). Cell-wall composition and digestibility of five native shrubs of the Tamaulipan Thornscrub in Northeastern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 24(1). <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3447>

16.2.- Participación en congresos

6to ENCUENTRO INTERNACIONAL EN CIENCIA ANIMAL DE ZONAS ARIDAS COSTERAS, 20-22 de Noviembre de 2019. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Poster 007/ “Contenido mineral foliar de cinco especies arbustivas con potencial nutricional para pequeños rumiantes en regiones semiáridas de México”. Chávez Espinoza, M., Cantú Silva, I., Cotería Correa, M., Estrada Castillón, A.E., Bernal Barragán, H., y González Rodríguez, H.